

# **Aquatische biomassa, het verwaarden van waterige reststromen op lokaal niveau**

Technisch deelrapport 1:  
Verkenning van de mogelijkheden van reststromen en  
aquatische biomassa

Auteurs: Sander Huurman, Rommie van  
der Weide



© 2015 Wageningen, ACRRES – Wageningen UR

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the DLO, Applied Plant Research, Business Unit AGV/ACRRES.

ACRRES – Wageningen UR is not responsible for any damage caused by using the content of this report.

This report results from 'PPS kleinschalige bioraffinage' (TKI-AF-12040); deliverable nr 5.6.  
BO-21.04-001-001



## Inhoud

SAMENVATTING/SUMMARY .....	4
Nederlands .....	4
English .....	4
1 INLEIDING .....	6
2 VERKLARENDE WOORDENLIJST .....	8
3 INVENTARISATIE VAN VLOEIBARE RESTSTROMEN IN NEDERLAND .....	9
3.1 Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) .....	9
3.2 Agrarische reststromen .....	11
3.2.1 Digestaat uit co-vergisters .....	11
3.2.2 Spuiwater substraatteelt glastuinbouw .....	12
3.2.3 Spuiwater luchtwassers .....	13
3.2.4 Effluent visteelt .....	14
3.3 Industriële reststromen .....	15
3.3.1 Reststromen zetmeelwinning AVEBE .....	15
3.3.2 Effluent van vergister voor voedings- en genotsmiddelen .....	16
3.3.3 Proceswater bierbrouwerij .....	17
3.3.4 Afvalwater melkindustrie .....	18
4 AQUATISCHE BIOMASSA .....	19
5 AQUATISCHE BIOMASSA IN DE WETENSCHAPPELIJKE LITERATUUR .....	22
6 NEDERLANDSE INITIATIEVEN VOOR VERWAARDING VAN NUTRIENTSTROMEN .....	29
6.1 Onderzoeksrapport: Effluentpolishing met algen in RWZI's hoofdrapport .....	29
6.2 Onderzoeksrapport: Effluentpolishing met kroos koepelrapport .....	32
7 RESTSTROOMSCREENING .....	34
8 RELATIE BIOMASSA TOT RESTSTROOM .....	42
9 VALORISATIE AQUATISCHE BIOMASSA .....	44
10 DISCUSSIE .....	48
11 CONCLUSIE .....	49
12 AANBEVELING .....	50
13 GERAADPLEEGDE BRONNEN .....	53

## Samenvatting/Summary

### Nederlands

Het verwaarden van lokaal geproduceerde waterige reststromen door middel van aquatische biomassa is onderdeel van de PPS Kleinschalige bioraffinage (WP5). Waterige reststromen met nutriënten en organische componenten ontstaan decentraal bij diverse bedrijven in de land- en tuinbouw en bij de verwerkende industrie. Deze reststromen vormen veelal een kostenpost (waterschapsheffing en zuiveringskosten) en veroorzaken een verlies aan nutriënten. Daar transport van deze volumineuze stromen niet rendabel is, zijn deze stromen bij uitstek geschikt om decentraal te raffineren. Microalgen en andere aquatische biomassa, zoals eendenkroos, zijn geschikt om nutriënten en organische stoffen uit deze reststromen te halen en deze vervolgens weer tot waarde te brengen. In combinatie met bijvoorbeeld vergisting leent zich dit ook heel goed voor een nuttig gebruik van de daarbij vrijkomende CO<sub>2</sub> en warmte. In Lelystad, Wageningen en bij een aantal praktijkbedrijven zijn de afgelopen jaren eerste ervaringen opgedaan en kengetallen verzameld op pilot-niveau. In dit deelrapport is een overzicht van een aantal in Nederland aanwezige waterige reststromen weergegeven. Een aantal van deze reststromen is ingezet in een microalgen well-plaat screeningtest om de biomassa ontwikkeling op deze stromen te onderzoeken. Op het vlak van het gebruik van aquatische biomassa zijn er een aantal samenvattingen van rapporten en literatuurstukken opgenomen in dit rapport. Ook is er een overzicht van de verschillende soorten aquatische biomassa en de mogelijke toepassing van deze biomassa op reststromen weergegeven. Als voorbeeld is de productie van verschillende soorten biomassa op effluent van een RWZI is gebruikt om een mogelijke verwaarding van componenten uit de biomassa weer te geven. De hoofdconclusie uit dit rapport is dat in Nederland op lokaal niveau diverse reststromen met uiteenlopende samenstellingen en volumes voorkomen. De inzet van aquatische biomassa om reststromen te ontdoen van nutriënten en afvalstoffen kan succesvol toegepast worden. Dit wordt vaak 'effluent polishing' genoemd. Het daadwerkelijk verwaarden van aquatisch biomassa gekweekt op reststromen is nog beperkt succesvol.

### English

Valorisation of locally produced aqueous residual streams using aquatic biomass is part of the public-private partnership 'Small-scale biorefinery' (work package5). Aqueous residual streams containing nutrients and organic components originate from various agri- and horticultural companies and processing industries. These streams are usually a financial burden (water board levies, treatment costs) and result in nutrient losses. Transport of these significant streams is not cost-effective, which renders them very suitable for local biorefinery. Micro algae and other aquatic biomass, like duckweed, are suitable for recovery and valorisation of nutrients and organic matter from these streams. Aquatic biomass production can be integrated with anaerobic digestion by using the CO<sub>2</sub> and residual heat resulting from this process. In recent years the first trials have been conducted in Lelystad, Wageningen and at several companies in the Netherlands and key figures have been collected at pilot scale. This sub-report lists a couple of locally produced residual streams from the Netherlands. Some of these streams are tested in a microalgae well-plate screening to determine their biomass growth potential. This report also summarizes literature and reports describing the usage of aquatic biomass. In addition an overview of different types of aquatic biomass and their value is given. As an example of valorisation biomass production and the value of some components in aquatic biomass grown on municipal wastewater treatment plants

effluent are calculated. The main conclusion from this report is that residual streams in the Netherlands are produced locally and vary in composition and volume. The use of aquatic biomass to remove nutrients and pollutants from residual streams can be applied successfully. This activity is also known as effluent polishing. The success of actual valorisation of biomass produced on residual streams is still limited.

# 1 Inleiding

Dit deelrapport is geschreven in het kader van WP5 van de PPS Kleinschalige Bioraffinage. Dit project draagt bij aan de innovatiethema's 'Valorisatie grondstoffen, zijstromen en dierlijke mest', 'Resource efficiency', 'Markt en keteninnovaties' en 'Duurzame maaktechnologie'. Het doel van deze PPS is om de technische en economische kansen in acceptabel sociaal en ecologisch kader aan te geven van kleinschaligheid in het optimaal benutten van biomassaströmen en tegelijkertijd de ontwikkeling van concrete business-cases die op dit concept gestoeld zijn te stimuleren. De impact van deze PPS is aanzienlijk, daar een significant NL biomassapotentieel – dat thans veelal onbenut blijft – ontsloten wordt. E.e.a. geschiedt via de ontwikkeling en demonstratie van NL technologische innovaties waardoor de NL industrie en m.n. MKB-bedrijven worden ondersteund om hun technologieën op een duurzame wijze in de diverse biomassa valorisatieketens (BC's) te implementeren; terwijl hierdoor tevens de NL kennispositie in internationaal kader wordt versterkt. De werkpakketten zijn gebaseerd op een aantal strömen: groen blad/loof en stevia (WP1), mais (WP2), suikerbieten (WP3), natuur-/bermgras, riet en GFT (WP4). Het onderwerp van WP5 is het valoriseren/raffineren van afvalwaterströmen m.b.v. aquatische biomassa. De disseminatie van de resultaten vindt plaats via de website [www.kleinschaligebioraffinage.nl](http://www.kleinschaligebioraffinage.nl).

Diverse industrieën produceren waterige restströmen welke minerale- en/of organische nutriënten bevatten. Deze waterige restströmen ontstaan onder andere in de land- en tuinbouw en bij de verwerkende industrieën, maar ook waterzuiveringsinstallaties, zowel industrieel als communaal, produceren waterige restströmen welke nutriënten bevatten. Het verwerken van de restströmen is in de meeste gevallen een kostenpost voor de producent en leidt vaak tot nutriëntverlies wanneer deze wordt verwerkt via bijvoorbeeld een waterzuivering waarna het gezuiverde water wordt geloosd.

Mogelijk kunnen kosten voor verwerking van restströmen en het verlies aan nutriënten worden teruggedrongen door de restströmen tot waarde te brengen bij de producent zelf, dit mede doordat transportkosten en eventuele zuivering kunnen worden voorkomen of gereduceerd. Aquatische biomassa zoals algen, kroos en andere aquatische planten zijn bij uitstek geschikt om diverse nutriënten uit waterige strömen te onttrekken en tot waarde te brengen.

Het verwaarden van een waterige restströmen in combinatie met installaties welke restwarmte en/of kooldioxide (CO<sub>2</sub>) produceren kan een goede synergie opleveren. Een voorbeeld hiervan is het onderzoek dat in Lelystad wordt uitgevoerd waarbij restwarmte en CO<sub>2</sub> vanuit de, op biogas aangedreven, warmte kracht koppeling (WKK) wordt benut in algenvijvers om de groei van biomassa te optimaliseren. Daarnaast wordt er onderzoek gedaan naar het gebruik van digestaat vanuit de co-vergisters als meststof voor de algen.

Verschillende groepen aquatische biomassa kunnen verschillende nutriënten als voedingsbron gebruiken enkele voorbeelden: veel soorten aquatische wormen en zoöplankton gebruiken dood organisch materiaal als voedingsbron, bacteriën gebruiken vaak suikers, vetzuren, aminozuren en minerale nutriënten als voedingsbron en fotosynthetiserende biomassa gebruikt met name minerale nutriënten als voedingsbron. In dit deelrapport ligt de focus op fotosynthetiserende aquatische biomassa, mogelijk dat in latere deelrapporten andere soorten aquatische biomassa, zoals zoöplankton, zal worden beschreven wanneer dit relevant blijkt te zijn.

Dit deelrapport heeft als doel een basis te vormen voor vervolgstudies die nodig zijn om de praktische haalbaarheid, en de daarbij behorende business case, van het gebruik van aquatische biomassa om waterige restströmen te verwaarden te onderzoeken. Dit rapport gaat in op de volgende onderwerpen:

1. Beschrijving van een aantal in de industrie aanwezige waterige reststromen
2. Uitleg aquatische biomassa en hun eventuele relevantie voor verwaarding van reststromen
3. Samenvattingen van literatuur waarin aquatische biomassa wordt gebruikt voor verschillende doelen
4. Enkele praktijkvoorbeelden van de teelt van aquatische biomassa op waterige reststromen in Nederland
5. Reststroomscreening, kunnen microalgen groeien op reststromen
6. Theoretische mogelijkheden voor verwaarding van vormen van aquatische biomassa
7. Overzicht van aandachtspunten voor vervolgonderzoek



## 2 Verklarende woordenlijst

Wat betekent: ....

- AWZI: afvalwaterzuiveringsinstallatie, een installatie waar afvalwater wordt gezuiverd. Wanneer bedrijven hun eigen afvalwater zuiveren wordt vaak gesproken over afvalwaterzuivering in plaats van rioolwaterzuivering. Rioolwaterzuivering wordt gebruikt wanneer het afvalwater via het riool wordt aangevoerd naar de zuiveringsinstallatie.
- CZV: chemisch zuurstofverbruik, de hoeveelheid organisch materiaal in een vloeistof dat middels een sterke oxidator kan worden omgezet in CO<sub>2</sub>.
- DWA: droogweerafvoer, afvoer van met name sanitair en bedrijfsmatig afvalwater naar een waterzuivering.
- Fototrofe algen: algen die licht gebruiken als energiebron.
- Fotosynthetiserend: het uit kunnen voeren van fotosynthese ten behoeve van energievoorziening.
- GFT: groenten, fruit en tuinafval
- HTL: Hydrothermal liquefaction, een thermische methode om natte of vochtige biomassa om te zetten in een ruwe olie.
- HWA: hemelwaterafvoer, de afvoer van water dat vanuit de lucht afkomstig is, inclusief eventueel de daarin meegenomen of opgeloste stoffen.
- Mixotrofe algen: algen die zowel licht als organische koolstofbronnen (glucose, glycerol, ureum) als energiebron kunnen gebruiken.
- RWZI: rioolwaterzuiveringsinstallatie, een zuiveringsinstallatie waar afvalwater, aangevoerd via het riool, wordt gezuiverd.
- VGI: voedings- en genotsmiddelen industrie.
- Zoöplankton: verzamelnaam voor in water zwevende of drijvende heterotrofe (hebben een organische koolstofbron nodig als energievoorziening) organismen



### 3 Inventarisatie van vloeibare reststromen in Nederland

Ook in Nederland worden door diverse industrieën en huishoudens, op lokaal niveau, reststromen geproduceerd die mogelijk tot waarde kunnen worden gebracht met behulp van aquatische biomassa.

In dit hoofdstuk worden een aantal in Nederland aanwezige vloeibare reststromen beschreven. Op enkele van deze reststromen is reeds onderzoek met aquatische biomassa uitgevoerd met als doel een emissie reductie te realiseren. In mindere mate is de mogelijke afzet, de feitelijke verwaarding, van de biomassa onderzocht.

De reststromen beschreven in dit hoofdstuk zijn niet uitputtend en bedoeld om een idee te krijgen bij de samenstelling en volumes van de reststromen. De weergegeven data zijn zo volledig mogelijk en actueel gemaakt tot het moment van verschijnen van dit deelrapport, mogelijk zullen reststroomdata in latere deelrapporten aangevuld worden.

#### 3.1 Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI)

Nagenoeg al het water dat huishoudens en bedrijven lozen wordt door RWZI's gezuiverd waarna het wordt geloosd op het oppervlaktewater, de afvoer van water door huishoudens en bedrijven wordt droogweerafvoer (DWA) genoemd. Naast DWA kent men ook hemelwaterafvoer (HWA) dat vaak ook via RWZI's op het oppervlaktewater wordt geloosd. Water dat van daken van huizen en wegen komt valt onder HWA en ontstaat met name door neerslag. Met het HWA spoelen veel stoffen mee naar de RWZI, enkele voorbeeld van stoffen die meekomen: motorolie, bandenslijtstof, corrosiestoffen van verzinkt dakwerk en slijtstof van bovenleidingen van trams.

De zuivering van geloosd afval water bestaat uit 4 stappen:

1. Voorbehandeling: grove delen worden uit het water verwijderd met behulp van roosters en zandvanginstallaties
2. Primaire waterzuivering: grovere organische delen worden bezonken in voorbezinktanks, dit vormt primair slib
3. Secundaire waterzuivering: de niet bezonken stoffen worden middels biologische zuivering, onder aerobe condities, afgebroken. Als gevolg van de opnamen van voedingsstoffen uit het water ontstaat hierbij een biologisch slib (secundair slib) dat in een nabezinkproces wordt gescheiden van de vloeistofstroom.
4. Tertiaire waterzuivering: deze zuiveringsstap heeft als doel de overgebleven vloeistofstroom na te zuiveren. Tijdens het proces worden zaken zoals zwevende deeltjes, nutriënten en zware metalen uit de vloeistofstroom verwijderd.

Afvalwater dat op een waterzuivering wordt aangevoerd wordt influent genoemd, het gezuiverde water dat de waterzuivering verlaat wordt effluent genoemd. Wanneer er in de waterzuivering wordt gesproken over effluentpolishing heeft dit meestal betrekking op water afkomstig uit de secundaire waterzuivering, feitelijk het tertiaire zuiveringsproces. De termen tertiaire

waterzuivering en effluentpolishing worden dan ook door elkaar gebruikt. Ook wordt de term effluentpolishing gebruikt voor processen waarin onbehandelde afval/reststromen van bijvoorbeeld bedrijven worden gezuiverd. Vaak worden aquatisch organismen zoals microalgen of helofyten ingezet om dergelijke stromen te zuiveren.

In Tabel 1 staat de lozing van stoffen op het oppervlaktewater via effluent uit Nederlandse RWZI's in 2013 weergegeven. In deze tabel staat de totaalvracht en de typische concentraties van een aantal stoffen weergegeven. Naast de weergegeven stoffen bevat RWZI effluent nog diverse andere stoffen zoals gechloreerde koolwaterstoffen, bestrijdingsmiddelen, benzeenverbindingen, etc, literatuurverwijzingen kunnen worden geraadpleegd voor meer informatie daaromtrent.

Tabel 1. Totaal effluent van Nederlandse RWZI's in 2013

Naam stof		
Volume afvalwater (*1000 m <sup>3</sup> )	1.873.263	
	Volume	Concentratie
	*1000 kg/jaar	mg/l
Chemisch zuurstofverbruik	68.429	38
Biologisch zuurstofverbruik	6.871	4
Stikstofverbindingen als N*	14.639	7
Fosforverbindingen als P**	2.079	1
Zwevende stof		8
	*1 kg/jaar	
Arseen	3.219	
Cadmium	155	
Chroom	2.502	
Koper	10.226	
Kwik	57	
Lood	2.935	
Nikkel	8.550	
Zink	87.024	

\*Stikstofverbindingen als N: De totale hoeveelheid stikstof, aanwezig in organische verbindingen (zoals eiwitten) en anorganische verbindingen (zoals nitraat en ammonium).

\*\*Fosforverbindingen als P: Het totaal van de in het afvalwater voorkomende fosfaten en andere fosforverbindingen, gemeten als fosfor (P).

In een onderzoek uitgevoerd door het STOWA (2009) zijn 10 effluenten van 6 verschillende RWZI's onderzocht op concentraties en de biologische beschikbaarheid (biobeschikbaarheid) van stikstof (N) en fosfor (P). De resultaten zijn weergegeven in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** De biobeschikbaarheid is getest met behulp van de alg *Raphidocelis subcapitata*. De concentraties N en P laten een spreiding zien maar zijn in lijn met de bevindingen van het CBS (Tabel 2). Op basis van deze informatie is in het kader van reststroomverwaarding aan te raden om de biobeschikbaarheid van de aanwezige nutriënten te onderzoeken, hierbij rekening houdend met een variatie door het jaar heen.

Tabel 2. Concentraties en biobeschikbaarheid van N en P in RWZI-effluent

		Biobeschikbaarheid voor algen ( <i>Raphidocelis subcapitata</i> )
Concentratie fosfor (P)		
Totaal P	0,2 - 4,2 mg/l	
Opgelost P	0,07 - 4,1 mg/l	
Fractie organisch opgelost P (gemiddeld)	28%	61%
Fractie anorganisch opgelost P (gemiddeld)	72%	83%
Concentratie stikstof (N)		
Totaal N	1,4 - 11,2 mg/l	
Opgelost N	1,3 - 10,8 mg/l	
Fractie organisch opgelost N (gemiddeld)	23%	70%
Fractie anorganisch opgelost N (gemiddeld)	77%	90%

Bronnen: [1,2,3,4,5,29]

## 3.2 Agrarische reststromen

### 3.2.1 Digestaat uit co-vergisters

Tijdens het co-vergistingsproces (zowel bij co-vergisting met of zonder dierlijke mest) ontstaat naast biogas digestaat. Het digestaat kan, wanneer wordt voldaan aan voorwaarden, worden gebruikt als mest op landbouwgrond. Ook kan digestaat worden ingezet als meststof in de teelt van aquatische biomassa.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is een cijfermatig overzicht gegeven van co-vergisters operationeel in Nederland in 2011. Daarnaast is in Tabel 4 een overzicht gegeven van de samenstelling van digestaat, de gegevens zijn door de European Biogas Association verzameld door samples van 1800, in Europa operationele, vergisters te analyseren, de opgegeven waarden zijn gemiddelden.

Tabel 3. Overzicht volumestromen co-vergisters

Locaties met 1 of meer vergisters in NL	86	
Vergiste mest (diverse herkomst)	1,35	miljard kg
Toegevoegd co-product (diverse soorten)	0,93	miljard kg
Biogas	5632	TJ
Opgesteld elektrisch vermogen	113	MW
Geproduceerd volume digestaat	1,93	miljard kg
Geproduceerd volume stikstof en fosfor		
-Stikstof	12	miljoen kg
-Fosfor	8	miljoen kg

Tabel 4. Gemiddelde samenstelling digestaat

Naam stof		
Drogestofgehalte (DW)	57	g/L
Organische stof in droge stof	69,3	% van DW
pH waarde	7,5	
Stikstof (N-totaal)	5.9	g/L
NH <sub>4</sub> -N	3.4	g/L
K <sub>2</sub> O	3.0	g/L
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.2	g/L
CaO	2.7	g/L
Mg	0,4	g/L

In de praktijk wordt het digestaat vaak gescheiden in een dikke en dunne fractie, de fosfor bevindt zich met name in de dikke fractie terwijl de stikstof zich met name in de dunne fractie bevindt. In veel gevallen kunnen eigenaren van vergistingsinstallaties het digestaat niet kwijt op eigen grond en wordt het digestaat geëxporteerd, zo werd in 2011 3 miljoen kg digestaatstikstof en 3 miljoen kg digestaatfosfor over de landsgrenzen vervoerd.

Bron: [6,7]

### 3.2.2 Spuiwater substraatteelt glastuinbouw

Als gevolg van emissienormen voor de glastuinbouw wordt het gietwater in deze sector gerecirculeerd. Wanneer zouten of andere, niet opneembare, componenten in een te hoge concentratie aanwezig zijn dient het recirculatiewater gespuid te worden. Dit spuiwater geldt voor de glastuinbouw als afvalstroom.

In de glastuinbouw bestaan een aantal afval/reststromen die mogelijk ingezet kunnen worden voor de teelt van aquatische biomassa. In Tabel 5 is de gemiddelde samenstelling van verschillende nutriëntstromen weergegeven, hierbij dient te worden opgemerkt dat er een sterke variatie aanwezig is tussen gewassen en de tijd van het jaar, voor groenten (paprika en tomaat) geldt een spuiwatervolume van 100-900 m<sup>3</sup>/ha/j terwijl dit voor bloemen (roos en gerbera) 500-2600 m<sup>3</sup>/ha/j is. Ter indicatie is in Tabel 6 een overzicht gegeven van het volume spuiwater van de hierboven genoemde gewassen op basis van het Nederland areaal en het spuivolume.

Tabel 5. Gemiddelde samenstelling stromen uit kassen

Afvalwater			Concentraat +		Concentraat -		Brijn-RO	
Hoeveelheid M3/ha/dag	3.4-7.3		0.7-1.5				22-39	
EC (mS/cm)	3.5		17.5				14.1	
Samenstelling	Mmol/l	Mg/l	Mmol/l	g/l	Mmol/l	g/l	Mmol/l	g/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.4	7.0	1.9	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0
N-NO3	21.1	295.4	105.5	1.5	105.5	1.5	0.0	0.0
K	7.8	303.8	39.0	1.5	39.0	1.5	2.1	0.1
Na	5.5	126.4	27.5	0.6	19.3	0.4	87.2	2.0
Cl	3.7	132.4	18.7	0.7	18.7	0.7	118.0	4.2
P-PO4	1.3	39.2	6.3	0.2	1.3	0.0	0.0	0.0
Ca	9.2	370.7	46.2	1.9	9.2	0.4	14.1	0.6
Mg	4.1	98.6	20.3	0.5	4.1	0.1	13.0	0.3
SO4	5.0	477.1	24.8	2.4	5.0	0.5	0.1	0.0
HCO3	1.3	79.3	6.5	0.4	6.5	0.4	25.5	1.6

-Afvalwater : spuiwater + drainwater + rest afvalwater

-Concentraat + : afvalwater na terugwinning van water

-Concentraat - : afvalwater na terugwinning van water en een deel van de nutriënten

-Brijn: : afvalwater uit aanmaak gietwater middels RO installaties

Tabel 6. Reststroomvolumes substraatteelt

Gewas	Spui + spoelwater m <sup>3</sup> /ha/jaar (gemiddeld)	Areaal in NL (2009)	Volume spui + spoelwater * 1000 m <sup>3</sup> /jaar
Tomaat	206	1.628	335
Paprika	199	1.331	264
Gerbera	506	217	109
Roos	586	532	311

In 2012 is er een rapport door Wageningen UR gepubliceerd dat onder andere in gaat op de teelt van aquatische biomassa op nutriëntstromen uit de glastuinbouw. Enkele beschreven voorbeelden van aquatische biomassa geteeld op dergelijke stromen zijn:

- Teelt van zilte groenten: zeekraal, zeekool, wilde rucola (Op Texel is in 2010 'zilte teelt project' gestart)
- Teelt van algen voor food, feed en brandstoffen
- Ook wordt een 'teelt uit de grond' systeem beschreven voor bijvoorbeeld sla, prei en broccoli

Bronnen: [8,9]

### 3.2.3 Spuiwater luchtwassers

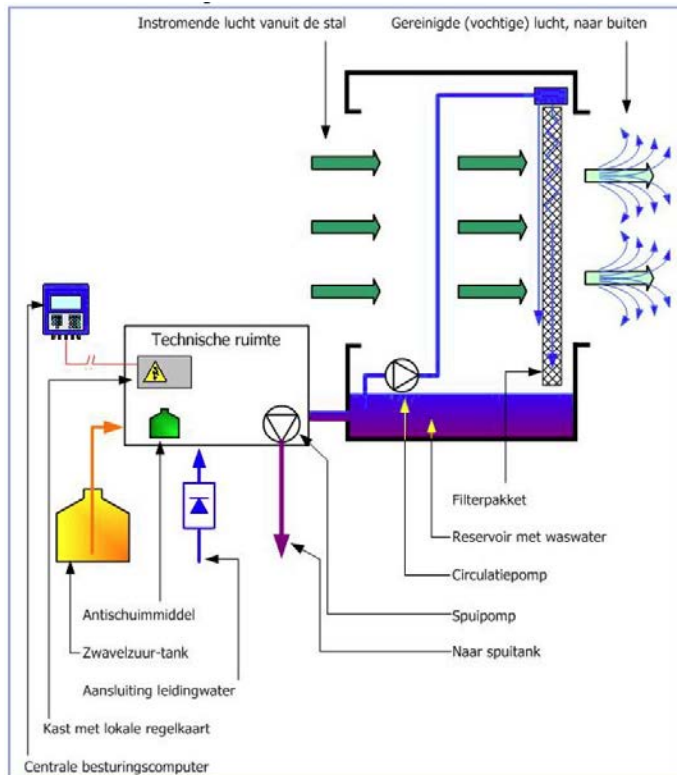
In de intensieve veehouderij worden in toenemende mate luchtwassers ingezet om de ammoniakemissie uit stallen te reduceren. Het betreft voor 90% chemische luchtwassers en voor 10% biologische luchtwassers. Met goed functionerende luchtwassers kan de ammoniakemissie uit stallen met 70% tot 95% worden verminderd. Het effluent van deze luchtwassers, het zogenaamde spuiwater, bevat stikstof in de vorm van ammoniumverbindingen welke bruikbaar zijn voor de teelt van aquatische biomassa.

In 2010 was het mogelijk om met de op dat moment opgestelde luchtwassers 23% van de ammoniak emissie in de varkenshouderij te voorkomen. Dit vertaalde zich naar 4,5% emissie reductie in te totale landbouw. Uit de praktijk bleek dat slechts de helft van de emissie werd gerealiseerd als gevolg van diverse tekortkomingen. Het CBS becijferde dat in 2014 de totale ammoniak uitstoot 20.200 mln. kg bedroeg voor hokdierbedrijven

Tabel 7. Volumes en concentraties spuiwater voor intensieve veehouderij in 2010

Gerealiseerde emissiereductie	5 mln. Kg NH <sub>3</sub>	
	Verhouding type wasser	Reductie op basis van verhouding
Chemische luchtwassers	90%	4,5 mln. kg
Biologische luchtwassers	10%	5 mln. kg
	Stikstofgehalte	Volume spuiwater
Chemische luchtwassers	3-5%	82-137 mln. liter
Biologische luchtwassers	0.3-0.5%	820-1370 mln. liter

Het spuiwater van chemische wassers wordt in de praktijk verhandeld als stikstofbron voor toepassing als vloeibare meststof in de landbouw.



Figuur 1. Schematisch overzicht van een chemische luchtwasser.

Bronnen: [14,15,23,30]

### 3.2.4 Effluent visteelt

Commerciële visteeltsystemen in Nederland zijn zo goed als allemaal uitgerust met een recirculatiesysteem. Dit houdt in dat het water continu via filters wordt ontdaan van afvalstoffen die in het teeltwater terecht komen. De afvalstoffen worden met name door de vis uitgescheiden. Het filtratieproces bestaat uit biologische en mechanische zuivering, middels mechanische zuivering worden vaste delen uit het water gefilterd, de biologische zuivering zet ammoniak en nitriet om in nitraat. Vaak vindt er ook denitrificatie plaats in anaerobe delen van het filtersysteem, hierdoor verdwijnt een deel van de nitraat stikstof als stikstofgas in de lucht. Om de concentraties van diverse opgeloste stoffen in het water op een acceptabel niveau te houden wordt er per dag 5-20% van het totale water volume verversd, dit spuiwater (effluent) bevat waardevolle nutriënten die mogelijk weer tot waarde kunnen worden gebracht door gebruik te maken van aquatische biomassa.

Reststromen uit de visteelt bestaat uit spuislib en effluent. Het spuislib is de fractie verzamelde vaste/onopgeloste delen en het effluent bevat met name opgeloste stoffen. In Tabel 8 staan gemiddelde concentraties van stoffen in reststromen uit de paling, meerval en tilapia teelt in Nederland weergegeven. Voor deze teelten is de totale omvang van de reststromen weergegeven in Tabel 9, de volumes zijn uitgedrukt in 1000 m<sup>3</sup>/jaar en de afvalstromen in ton/jaar.

Tabel 8. Samenstelling reststromen visteelt in 2004

	Paling		Meerval		Tilapia	
	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent
Droge stof	25000	19	25000	269	25000	452
Totaal stikstof opgelost	80	80	116	116	57	57
Totaal stikstof gesuspenseerd	1124	0	732	8	537	8
Nitraat stikstof	63	63	50	50	38	38
Kjeldahl stikstof opgelost	17	17	66	66	4	4
Kjeldahl stikstof gesuspenseerd	1124	1	732	8	537	8
Fosfor opgelost	8	8	18	18	81	81
Fosfor gesuspenseerd	3182	3	1095	6	930	13
CZV opgelost	40	40	195	195	262	262
CZV gesuspenseerd	24464	22	22362	115	18934	265

Concentraties weergegeven in mg/l

Tabel 9. Omvang van reststromen in paling, meerval en tilapiateelt in 2004

	Paling		Meerval		Tilapia		Totaal	
	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent
Volume*	17	2003	10	218	5	73	32	2294
Afvalstroom**:								
Droge stof	413	93	253	59	136	33	802	185
Totaal stikstof	20	162	9	27	5	6	34	195
Nitraat stikstof	1	127	1	11	0	6	2	144
Kjeldahl stikstof	19	36	8	16	5	1	32	53
Fosfor	53	21	12	5	9	7	74	33
CZV	405	124	228	68	105	30	738	222
Kooldioxide	6500	3000	1500	11000				

\*Volume uitgedrukt in 1000 m<sup>3</sup>/jaar

\*\*Afvalstroom uitgedrukt in ton/jaar

Bron: [33]

## 3.3 Industriële reststromen

### 3.3.1 Reststromen zetmeelwinning AVEBE

Na de winning van aardappelzetmeel blijft er bij AVEBE aardappelwater over, uit dit aardappelwater wordt eerste het eiwit gewonnen waarna het wordt ingekookt tot een dik vloeibaar product en verkocht onder de naam Protamylasse. Tijdens dit inkookproces treden er diverse reacties op waardoor het product zijn bruine kleur krijgt. Voor het kookproces is het product lichtgeel van kleur.



Hieronder de samenstelling en volumes van beide stromen.

Tabel 10. Samenstelling aardappelsap en protamylasse

	Onteiwit aardappelsap	Protamylasse
Volume op jaarbasis (kt)	1890	86
drogestofgehalte g/L	30	540
ruw eiwit g/L	10	178
vrije stikstof g/L	9	165
nitraat g/L	0,1	2
suikers g/L	5	96
organische zuren g/L	5	96
kalium g/L	4	75
magnesium g/L	0,2	4
fosfor g/L	0,3	6
chloride g/L	0,4	7

Voor protamylasse is door ACRRES getest of er microalgen op konden groeien, de resultaten van de testen zijn te vinden in het hoofdstuk: Reststromscreening.

Bronnen: [10,11]

### 3.3.2 Effluent van vergister voor voedings- en genotsmiddelen

Op het terrein van Attero in Tilburg staat een slurrievergister waarin restanten van de voeding- en **genotsmiddelen industrie (VGI) worden vergist en omgezet naar biogas. De aanvoer van voeding voor de** vergister gebeurt met tankauto's. Na het vergistingsproces wordt het ontstane digestaat gescheiden in een dikke en dunne fractie, de dunne fractie wordt zo vaak mogelijk hergebruikt in het proces, als dat niet meer lukt door de ophoping van opgeloste stoffen wordt het afgevoerd naar de RWZI op het terrein. De dikke fractie wordt verwerkt tot compost en gemengd met GFT compost.

De dunne fractie welke wordt afgevoerd naar de RWZI heeft onderstaande samenstelling:

Tabel 11. Samenstelling dunne fractie VGI vergister

Gemiddelde waarden in 2014		
NH <sub>4</sub> -N	2800	mg/l
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	80	mg/l
CZV	3000	mg/l
Droge stof	0,3	%
pH	7,9	
Volume	45.000	m <sup>3</sup> /jaar



*Figuur 2. VGI vergister in aanbouw*

Bronnen: [12,13]

### 3.3.3 Proceswater bierbrouwerij

Bierbrouwers kunnen zelf hun procesafvalwater zuiveren middels biologische waterzuivering. Na de zuivering blijven er nog voor algen bruikbare nutriënten over. In het project “Groen proceswater” (<http://www.wageningenur.nl/nl/project/Groen-proceswater-2.htm>) zijn verschillende proceswaterstromen van een bierbrouwer onderzocht op de mogelijkheden voor algengroei.

In Tabel 12 staat de samenstelling van verschillende proceswaters van verschillende brouwerijen (Br A en Br B) weergegeven. UASB staat voor Upflow Anaerobic Sludge Bioreactor, een manier van zuiveren waarmee naast de zuivering van water ook biogas wordt geproduceerd. Het ongezuiverde procesafval water gaat een UASB reactor in (UASB-infl), het behandelde water dat hier uit komt (UASB-effl) gaat vervolgens door naar de AWZI. Na behandeling wordt het “schone” water (AWZI-effl) geloosd op het oppervlaktewater.

In 2012 werd in brouwerij A 750 m<sup>3</sup>/dag aan procesafvalwater geproduceerd.

Tabel 12. Samenstelling proceswaters bierbrouwer

	UASB-infl Br A	UASB-effl Br A	AWZI -effl Br A	UASB-infl Br B	UASB-effl Br B
Nutriënten in mg/l:					
NH <sub>4</sub>	n.a.	7.2	n.a.	n.a.	10.8
NO <sub>3</sub>	n.a.	24.8	24.8	6.2	6.2
NH <sub>4</sub> -N	n.a.	5.6	0.0	0.0	8.4
NO <sub>3</sub> -N	n.a.	5.6	5.6	1.4	1.4
NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> -N	n.a.	11.2	5.6	1.4	9.8
P	2.5	4.0	1.5	3.4	6.5
K	35	39	27	16	20
Mg	15	15	15	nd	10
S	45	35	55	13	10

n.a.: not applicable, geen waarde gemeten/niet detecteerbaar

Bron: [31]

### 3.3.4 Afvalwater melkindustrie

Melk is de grondstof van de melkindustrie. Naast het directe gebruik van rauwe melk voor de productie van bijvoorbeeld volle melk, halfvolle melk, yoghurt en kwark kan melk ook in onderdelen uit elkaar worden gehaald, het zogenaamde fractioneren. Door gebruik te maken van diverse processen kan bijvoorbeeld lactose, lactoperoxydase botervet of andere componenten aan de melk worden onttrokken.

Na het verwerken van melk worden diverse leidingen en procesonderdelen schoongespoeld en gereinigd. Diverse reststromen vanuit het spoel en reinigingsproces worden vaak ontdaan van meerdere vervuilende stoffen alvorens ze worden geloosd op bijvoorbeeld het riool.

In Tabel 13. Samenstelling reststroom melk na on-site zuivering Tabel 13 staat de reststroom samenstelling van een in Nederland gevestigde melkverwerkende fabriek weergegeven. De reststroom betreft een stroom welke wordt geloosd na een behandeling die bij de fabriek zelf plaats vind. Voor fosfaat geldt dat dit voor het overgrote deel (~80%) als niet opgelost calciumfosfaat voorkomt.

Tabel 13. Samenstelling reststroom melk na on-site zuivering

Volume	5300	m <sup>3</sup> /dag
pH	8	
CZV	690	mg/l
Stikstof	65	mg/l
Chloride	429	mg/l
Fosfaat	53	mg/l
Nitraat	93	mg/l
NaCl	0.71	g/l

Bron: vertrouwelijk

## 4 Aquatische biomassa

In dit deelrapport wordt aquatische biomassa gedefinieerd als biomassa welke is gevormd door organismen die in enigerlei vorm hun benodigde nutriënten aan het waterige milieu waarin zij leven onttrekken. Daarnaast ligt in werkpakket 5 de focus met name op fotosynthetiserende aquatische biomassa zoals micro- en macroalgen en drijvende- en ondergedoken waterplanten. Daar waar van toepassing zal ook informatie over geschakelde terugwinning, met bijvoorbeeld zoöplankton en macroalgen, van reststromen worden beschreven.

Op grond van de plaats in het water worden water- en overplanten ingedeeld volgens Tabel 14:

Tabel 14. Overzicht groeivormen aquatische biomassa

Groeivorm waterplant	Beschrijving	Voorbeelden van waterplanten
Ondergedoken planten	Leven geheel onder water al dan niet met wortels verankerd	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fytoplankton: microscopische algen zoals <i>Chlorella</i> of <i>Scenedesmus</i></li> <li>Filamenteuze algen: ook wel draadalgen genoemd. <i>Spirogyra</i> en <i>Oedogonium</i> zijn hier voorbeelden van</li> <li>Macrofyten: overige waterplanten zoals waterpest, <i>Cabomba</i>, <i>Hydrilla</i> en fonteinkruid</li> </ul>
Drijvende planten	De bladen van deze planten drijven, ze zijn al dan niet met wortels verankerd en hebben al dan niet ondergedoken bladeren	Eendenkroos, <i>Azolla</i> varen, waterhyacint
Helofyten	Wortelen onder water, maar de volwassen plant steekt met het grootste deel van de bladeren boven het water uit	Riet, lisdodde, gele lis, krabbescheer, waterspinazie
Amfibische planten	Deze groeien soms of deels in het water. Maar ook wel geheel boven water, al dan niet samenhangend met een dalend waterniveau in de zomer	Fioringgras, rode waterereprijs, veenwortel
Oeverplanten	Deze wortelen altijd boven water, maar in altijd natte bodem, en daardoor nooit ver van water verwijderd	Kalmoes, naaldgras, lidsteng
Moerasplanten	Deze groeien net als oeverplanten in drassige bodem; kunnen ook amfibisch leven maar groeien onder geïsoleerde omstandigheden, dus verwijderd van het open water	Geen specifieke soorten

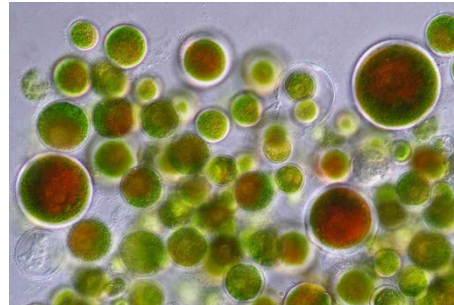


Aquatische biomassa in beeld, ter illustratie een aantal soorten aquatische biomassa:

#### Microalgen

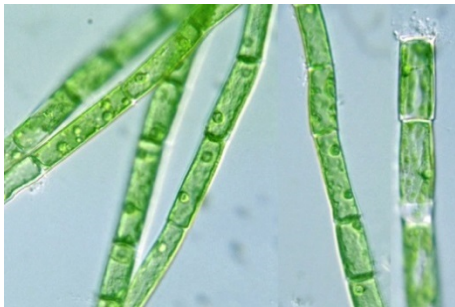


*Scenedesmus perforates*



*Haematococcus pluvialis*

#### Macroalgen



*Oedogonium* sp.



*Spirogyra* sp.

#### Drijvende waterplanten



Watervaren, *Azolla filiculoides*



Eendenkroos, *Lemna minor*

#### Helofyten



Waterspinazie, *Ipomoea aquatica*



Naaldgras, *Eleocharis palustris*

Figuur 3. Aquatisch biomassa in beeld

Er is veel onderzoek gedaan naar de verwijdering van nutriënten uit reststromen door gebruik te maken van micro- en macroalgen als wel het gebruik van drijfplanten zoals kroos en waterhyacint (de laatste is niet winterhard). In mindere mate is er onderzoek gedaan naar de verwijdering van nutriënten middels ondergedoken planten zoals *Elodea* (waterpest) en *Hydrilla* (hydrilla) of moerasplanten zoals *Ipomoea* (waterspinazie) en *Rorippa* (waterkers) (beide voedselplanten).

De keuze om een bepaalde soort biomassa te gaan kan worden bepaald door de reststroom, ter illustratie:

- Een schone minerale reststroom van nutriënten (zonder bijvoorbeeld te veel organische stoffen of zware metalen) kan bijvoorbeeld zeer geschikt zijn om micro- of macroalgen op te produceren welke hun afzet kennen in de diervoeding en eventueel voeding voor mensen.
- De dunne fractie van digestaat kan door de vertroebeling van het teeltwater minder goed gebruikt worden voor algen maar is potentieel meer geschikt voor drijvende planten zoals kroos
- Om een met zware metalen vervuilde reststroom te behandelen kan de keuze gemaakt worden voor een waterplant welke in staat is grote hoeveelheden zware metalen te accumuleren waarna de plant wordt afgevoerd. In een dergelijke reiniging (polishing) van een reststroom kan een makkelijk oogstbare waterplanten positief uitwerken op de oogstkosten.

Bronnen: [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]

## 5 Aquatische biomassa in de wetenschappelijke literatuur

In de literatuur zijn veel referenties te vinden waarin wordt ingegaan op het gebruik van aquatische biomassa om nutriënten uit reststromen te verwijderen. In waterzuiveringssystemen valt het gebruik van aquatische biomassa meestal onder de tertiaire zuiveringsstap. Tertiaire zuivering wordt ook vaak effluentpolishing genoemd, (letterlijk: afvalwater polijsten). De term effluentpolishing wordt ook gebruikt in situaties wanneer een reststroom, zonder tussenkomst van een waterzuiveringsinstallatie, direct wordt aangeboden aan een tertiaire waterzuivering.

Er zijn diverse onderzoeken uitgevoerd op reststromen, enkele voorbeelden van beschreven reststromen zijn: effluent van viskwekerijen, spuiwater uit de substraat teelt en digestaat van vergistingsinstallaties. Daarnaast is er ook diverse informatie te vinden waar ingegaan wordt op de bruikbaarheid van de biomassa waarmee de reststroom geheel of gedeeltelijk is ontdaan van nutriënten. Beschreven mogelijkheden zijn onder andere: gebruik van macroalgen als energiegewas, gebruik van ondergedoken waterplanten als voeding voor leghennen en het gebruik van zoöplankton als voeding in de visteelt.

Ter illustratie zijn hieronder een aantal referenties samengevat waarin reststromen worden gebruikt als nutriënten ten behoeve van de groei aquatische biomassa en eventuele toepassing van, als dan niet op reststromen geproduceerde, aquatische biomassa.

### **Reststromen als nutriëntenbron:**

E. Marhino-Soriano et.al. (2010) Bioremediation of aquaculture wastewater using macroalgae and Artemia.

In een 72 uur durend experiment is het effect op effluentwater van een garnalenkwekerij bekeken onder invloed van de macroalg *Gracilaria caudata* (zoutwater wier) en de kreeftachtige *Artemia franciscana* (pekelkreeftje). Het effect van enkel *Gracilaria*, de combinatie van *Gracilaria* en *Artemia* en enkel *Artemia* werden onderzocht. In alle testcondities verbeterde de helderheid van het effluentwater significant (65-75%). De combinatie van *Gracilaria* en *Artemia* leverde de grootste verwijdering van opgeloste anorganisch stikstof ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_4^+$ ) op (44,5%). De onderzoekers zagen een toename van  $\text{PO}_4^{3-}$  in de proefopzetten waar *Artemia* bij betrokken was, dit werd verklaard doordat filtervoedende organismen, waaronder *Artemia*,  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{PO}_4^{3-}$  uitscheiden als gevolg van hun metabolisme, waarschijnlijk worden fosfaten in opgenomen organisch materiaal vrijgemaakt en in oplosbare vorm uitgescheiden. De conclusie van het experiment is dat de beschreven organismen goed gebruikt kunnen worden om stikstoffen uit het effluentwater te verwijderen. Een eventuele toepassing van de algen en kreeftjes wordt niet beschreven.



M.Adamsson (2000) Potential use of human urine by greenhouse culturing of microalgae (*Scenedesmus cuminatus*), zooplankton (*Daphnia magna*) and tomatoes (*Lycopersicon*)

In deze publicatie is onderzoek gedaan naar geschakelde biomassa productie op humane urine. Op de urine is *Scenedesmus* (zoetwater microalg) geproduceerd die vervolgens als voeding voor *Daphnia* (watervlo) fungeerde, de niet door de algen en *Daphnia* opgenomen nutriënten werden vervolgens aangeboden aan tomatenplanten. Op basis van laboratoriumtesten om de bruikbare urine concentraties te onderzoeken is een experiment in kassen ingezet, een experiment van 114 dagen (mei-augustus) en een experiment van 30 dagen (september-oktober). Uit de kasexperimenten bleek dat de verwijdering van stikstof en fosfor uit urine respectievelijk 67% en 36% waren in het 114 dagen experiment en 98% en 97% in het 30 dagen experiment. Waarschijnlijk liggen temperatuurvariaties ten grondslag aan deze verschillen in verwijdering van nutriënten. Als opmerking noemt de auteur dat de belangrijkste schakel in dit proces de algenkweek is, aangezien *Daphnia* zowel bacteriën als algen kan opnemen als voeding is het voor deze stap minder noodzakelijk om een goede algenkweek te hebben, echter voor nutriëntverwijdering lijkt de algenkweek zeer belangrijk te zijn. Het gebruik van *Daphnia* voor voeding van vissen wordt genoemd als mogelijk afzetkanaal.

Giorgos Markou and Dimitris Georgakakis (2011) Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: A review

Dit artikel biedt een overzicht van de mogelijkheden van filamenteuze cyanobacteriën geproduceerde op afval en afvalwater uit de agro-industrie. De schrijvers van dit artikel richten zich op deze algen omdat ze mogelijk een voordeel hebben op het gebied van oogstsystemen ten opzichte van kleinere soorten algen. De meeste agro-industrieafvalstromen worden met aerobe of anaerobe vergisters behandeld, dit biedt een oplossing om organische nutriënten voor een groot deel te verwijderen echter biedt dit geen of een gedeeltelijke oplossing voor minerale nutriënten, mede daardoor ligt de focus van dit artikel op het verkennen van de mogelijkheden van algen om deze afvalstromen te verwerken. Aangezien geen van de beschreven cyanobacteriën alle aanwezige nutriënten kan benutten stellen de auteurs een polycultuur van algen voor om een betere verwijdering te krijgen, ook wordt het idee aangedragen dat de combinatie van bacteriën met algen wellicht synergistisch kan werken.

In het artikel worden verschillende afvalbronnen waarop onderzoek naar de groei van cyanobacteriën is gedaan vermeld, hieronder een overzicht:

- Varkenshouderij: effluent van anaerobe vergister, pure mest, supernatant van belucht varkenswaswater
- Runderhouderij: effluent van anaerobe vergister, percolaat van runderafval, pure mest
- Pluimveehouderij: effluent van anaerobe vergister
- Melkindustrie: effluent van anaerobe vergister van melkwei
- Overig:
  - Afval van industriële gistproductie
  - Molasse als koolstof en energiebron
  - Beendermeel als bron van calcium en magnesium
  - Afvalwater van een sagopalmzetmeelfabriek

De auteurs concluderen dat cyanobacteriën een significante bijdrage kunnen leveren aan het behandelen van diverse agro-industrieafvalstromen door een aanzienlijke reductie te realiseren in organische en minerale nutriënten. Ze geven aan dat de geproduceerde biomassa bij kan dragen aan de productie van biobrandstoffen. Ook geven ze aan dat de variatie aanwezig in deze stromen een groot nadeel kan zijn.

## Het gebruik van aquatische biomassa:

L.R. McDowell et.al. (1988) Utilization of aquatics plants *Elodea canadensis* and *Hydrilla verticillata* in diets for laying hens. 1. Performance and egg yolk pigmentation.

In dit artikel wordt het gebruik van de ondergedoken waterplanten *Elodea canadensis* (Canadese waterpest), *Hydrilla verticillata* (Hydrilla) en *Pithophora* (filamenteuze algensoort) als voeradditief voor leghennen beschreven. In hun onderzoek werd standaard leghennen- en onderzoekvoer aangemaakt, de waterplanten werden als vervanging van mais- en sojameel gebruikt, op basis van droge stof was de eindconcentratie waterplanten in het voer 7,5%. Als waterplanten zijn *Elodea* en *Hydrilla* los van elkaar gebruikt en er is een mengsel van *Hydrilla* met *Pithophora* gebruikt (verhouding niet bekend). Op basis van diverse meetwaarden aan organen en bloed in de leghennen, voeropname en productie van eieren concludeert de auteur dat deze aquatische planten gebruikt kunnen worden als voederingsrediënt voor pluimvee.

WUR-ACRRES. Joanneke Spruijt, Rommie van der Weide en Marinus van Krimpen (2014) Kansen voor microalgen als grondstofstroom in diervoeders.

Dit rapport brengt de kansen voor toepassing van microalgen in diervoeders in kaart. In het rapport wordt de samenstelling van verschillende microalgen zoals *Chlorella*, *Arthrospira* en *Scenedesmus* in relatie tot verschillende voedergewassen besproken. Op het vlak van samenstelling worden aandacht geschonken aan:

- Gehaltes ruw eiwit en de verteerbaarheid en aminozuursamenstelling daarvan
- Vetzuurprofielen
- Vitaminen en mineralen

In het rapport wordt ook veel aandacht geschonken aan mogelijke gezondheid bevorderende aspecten van algen. Antibacteriële-, antivirale- en immuunbevorderende eigenschappen worden beschreven.

In het rapport is ook een overzicht gegeven van onderzoek naar gezondheidseffecten van microalgen op diverse diersoorten. In het overzicht zijn resultaten te vinden van voederproeven op pluimvee, varkens, koeien, lammeren en vissen. Uit het onderzoek blijkt dat bij deze diersoorten algen zonder problemen kunnen worden gebruikt om een deel van de eiwitbehoefte in te vullen. Enkele voorbeelden van waargenomen verbeteringen als gevolg van het voederen van algen zijn:

- Pluimvee: lagere cholesterol en hogere carotenoïden spiegels in de eieren, sterkere spierkleuring en verbetering van immuunrespons
- Varkens: mogelijk positief effect op de groei bij biggen van een bepaalde leeftijd en verbeterde vruchtbaarheid bij beren
- Koeien: dieren met een hoger vetpercentage en verhoging van het gehalte onverzadigde vetzuren in de melk maar wisselende resultaten op het melkvetgehalte

Het rapport concludeert dat de prijs voor algen op dit moment relatief hoog is op basis van eiwitten en vetten, daar tegenover staat dat de marktperspectieven voor gebruik van microalgen als voeradditief positief zijn vanwege de verschillende positieve effecten op diergezondheid.

Op het vlak van duurzaamheid lijken algen een positieve bijdrage te hebben door de hoge productiviteit van eiwitten per hectare grond, vermindering van broeikasgasemissie en verbetering van kringlopen.

Volgens de auteurs liggen er kansen om algen in te zetten als:

- Bulktoepassing: vanwege het vergelijkbare of zelfs hogere eiwitgehalte dan conventionele grondstoffen

- Veevoederadditief: vanwege het mogelijke gezondheid bevorderende effect op diverse soorten dieren
- Duurzaamheidsvergroting: omdat er voor de teelt onder andere minder landbouwgrond nodig is, rookgas ingezet kan worden als CO<sub>2</sub> bron en kringlopen verbeterd kunnen worden.

Echter liggen er nog wel een aantal uitdagingen, zo moet er onder andere extra onderzoek worden gedaan naar de voederwaarde en gezondheidsaspecten, de algenproductie moet worden verhoogd, het energieverbruik moet worden gereduceerd en de kostprijs moet worden verlaagd.

Nicolas Neveux et.al. (2014) Comparing the potential production and value of high-energy liquid fuels and protein from marine and freshwater macroalgae

In deze publicatie is de potentiële, theoretische, biobrandstofopbrengst van zes verschillende macroalgen berekend en vergeleken op basis van hun biochemische samenstelling. Er werden 4 zoutwaterwieren (*Chaetomorpha linum*, *Cladophora coelothrix*, *Derbesia tenuissima* en *Ulva ohnoi*) en 2 zoetwaterwieren (*Cladophora vagabunda* en *Oedogonium sp.*) gebruikt voor de studie. Als basis voor de berekeningen hebben de auteurs in eerste instantie de biomassa productiviteit van de verschillende macroalgen bepaald, de uitkomst is omgerekend naar de opbrengst per hectare (weergegeven in kolom A). Hierbij zijn de auteurs uitgegaan van een productie welke 365 dagen per jaar de gevonden productiviteit kent. De biobrandstof berekeningen zijn gebaseerd op de opgegeven biomassaopbrengst.

Voor het verkrijgen van biobrandstof zijn 2 berekeningsmethoden gebruikt, het verkrijgen van biodiesel op basis van vetzuren (kolom 1) en het verkrijgen van "biocrude" (kolom 2) door middel van "hydrothermal liquefaction" (HTL), beide op basis van de totale biomassa. Ook is gekeken of er een meerwaarde (kolom 5) van de algenbiomassa ontstaat wanneer eerst de algeneiwitten (kolom 3) worden geïsoleerd waarna het restant wordt omgezet in biobrandstof (kolom 4).

In Tabel 15 is door de auteurs weergegeven wat de theoretische opbrengst van verschillende scenario's zou kunnen zijn.

Tabel 15. Theoretische verwaarding van soorten aquatische biomassa

Scenario	A	1	2	3	4	5
Handelsproduct	Bio-massa t/ha/jr	Biodiesel	"biocrude"	Eiwit	"biocrude" na extractie van eiwit	Waarde eiwit + "biocrude"
Soort / Prijs (US\$ t <sup>-1</sup> )	Bron	941	682	432	682	
<i>Derbesia</i>	Zout	43				
	P	1,8	7,1	9,4	5,4	
	W	\$1700	\$4800	\$4100	\$3700	\$7800
<i>Ulva</i>	Zout	41				
	P	0,6	4,6	6,8	3,4	
	W	\$600	\$3100	\$2900	\$2300	\$5200
<i>Chaetomorpha</i>	Zout	35				
	P	0,7	4,0	4,0	3,3	
	W	\$700	\$2700	\$1700	\$2300	\$4000
<i>Cladophora</i>	Zout	31				
	P	0,8	4,3	5,5	3,3	
	W	\$800	\$2900	\$2400	\$2200	\$4600
<i>Oedogonium</i>	Zoet	18				
	P	0,8	3,3	4,2	2,5	
	W	\$800	\$2300	\$1800	\$1700	\$3500
<i>Cladophora</i>	Zoet	12				
	P	0,6	2,0	3,4	1,4	
	W	\$600	\$1300	\$1400	\$900	\$2300

Zout=zeewateralg, Zoet=zoetwateralg

P=productiviteit van een component in ton/ha/jaar

W=totale waarde van de fractie in dollar/ha/jaar

De onderzoekers hebben een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om een inschatting te krijgen wat het effect van verschillende parameters op de financiële opbrengst per hectare is. Het bleek dat voor de meest waardevolle algen (*Derbesia*, *Ulva* en *Oedogonium*) de biomassa-productiviteit en de opbrengst van "biocrude" de grootste invloed hadden. Stamselectie en veredeling van de algen en het verbeteren van de HTL technologie worden als belangrijkste verbeterpunten aangegeven. Als mogelijke afzetmarkt voor de eiwitten uit de algen wordt voeding voor varkens genoemd, de verhouding tussen de aminozuren methionine en lysine voor *Derbesia*, *Ulva* en *Oedogonium* is 0,31-0,28 wat valt binnen de range (0,27-0,38) welke voor varkens wenselijk is.

#### E.C.S. Little (1979) Handbook of utilization of aquatic plants (Food and Agricultural Organization of the United Nations)

Dit handboek is een samenvatting van vele boeken, literatuurstukken en andere publicatie met als overkoepelend onderwerp: het gebruik van waterplanten. Waterplanten kunnen grote overlast veroorzaken in waterwegen voor bijvoorbeeld de visvangst en waterwinning, tegelijkertijd kunnen de overlastplanten mogelijk goed worden ingezet voor diverse doeleinden. Het boek behandelt de volgende onderwerpen ten aanzien van het gebruik van waterplanten:

- Samenstelling en productiviteit van verschillende waterplanten
- Oogstmethoden van waterplanten
- Eiwitextractie
- Waterplanten als voeding voor de mens, vee en vis
- Het gebruik van waterplanten als bemesting
- Waterzuivering
- Overige gebruik van waterplanten zoals: papier en bouwmaterialen, brandstof en medicijnen

Enkele specifiek onderwerpen die worden beschreven in het boek:

#### Voeding voor mens en vee:

In het boek wordt aandacht geschonken aan het gebruik van waterplanten als voeding voor mens en vee. Algemeen bekende waterplanten geschikt voor menselijke consumptie zijn: rijst, waternoot, waterkers, waterspinazie en lotuswortel. Daarnaast worden nog een aantal andere waterplanten, zoals: waterhyacint, pijlkruidknollen, "alligator weed" en lisdoddeknollen, genoemd welke in sommige landen worden gegeten of mogelijk eetbaar zijn. De toepassingen van waterplanten als voeding voor dieren krijgt in het boek veel aandacht, er worden publicaties specifiek over voeding van waterplanten aan runderen, schapen, varkens en pluimvee beschreven. In een apart hoofdstuk wordt het gebruik van waterplanten ter bereiding van kuilvoer beschreven. Naast de beschreven waterplanten voor humane consumptie worden waterhyacint, *Hydrilla*, fonteinkruid, hoornblad, *Vallisneria* en eendenkroos beschreven als bron van voeding voor vee.

#### Waterzuivering met waterplanten:

Een ander onderwerp dat het boek aansnijdt is de zuivering van water met waterplanten. In het boek worden op het gebied van stikstof en fosfor verwijdering diverse soorten aquatisch biomassa beschreven, enkele voorbeelden van beschreven aquatische biomassa mogelijk geschikt voor het Nederlandse klimaat zijn: hoornblad, eendenkroos, pijlkruid en diverse microalgen, soorten beschreven voor warmere klimaatzones zijn met name: waterhyacint en "alligator weed". Over het algemeen wordt stikstof (zowel ammonium als nitraat) sneller opgenomen dan fosfor. In sommige omstandigheden kan aquatische biomassa meer nutriënten uit het water opnemen dan dat nodig is voor hun groei, dergelijke situaties komen voor in omgevingen met hoge concentraties aan beschikbare nutriënten en wordt "luxury consumption" (luxe opname) genoemd. Ook het gebruik van aquatische biomassa om sulfaten, zware metalen, fenol (en fenolische verbindingen), insecticiden, en metalen zoals zilver en strontium uit reststromen te verwijderen wordt in het boek beschreven. In veel gevallen gaat het hierbij met name om onderzoek dat is uitgevoerd met waterhyacint en "alligator weed". Onderzoeken naar de verwijdering van fenol door waterhyacint lieten zien dat er in 72 uur 36 mg/g drooggewicht biomassa opgenomen kon worden. De opgenomen fenol was niet meer terug te vinden in de biomassa en was vermoedelijk metabolisch omgezet naar andere componenten.

Ondanks dat het boek uit 1979 (2de editie) stamt geeft het een goed beeld van de mogelijkheden die er zijn om waterplanten te gebruiken als grondstof voor diverse markten. Voor een groot deel worden waterplanten beschreven die voorkomen in warmere klimaatzones (niet in Nederland), in bepaalde situaties zou restwarmte gebruikt kunnen worden om de condities te creëren welke het gebruik van deze waterplanten zou kunnen toelaten.

#### Sofie Van Den Hende et. al. (2015) Microalgal bacterial flocs originating from aquaculture wastewater treatment as diet ingredient for *Litopenaeus vannamei* (Boone)

In dit onderzoek is het gebruik van microalgen-Bacterievlokken (MaB vlokken) als voeding voor garnalen onderzocht. Afvalwater afkomstig van een snoekbaarskwekerij is gebruikt als voedingsbron om MaB vlokken op te kweken. Een sequencing batch reactor is gebruikt voor de kweek van de vlokken, na bezinken konden de vlokken worden uitgeperst met een filterdoek met een poriegrootte van 200 micrometer. De vlokken bevatte verschillende soorten algen, cyanobacteriën en bacteriën. De geoogste en gedroogde vlokken zijn in een verhouding van 0, 2, 4, 6 en 8% aan het basisvoer voor de garnalen toegevoegd en ingezet in een voederproef. Het gebruik van de vlokken in het dieet van de garnalen bleek een significant positieve invloed te hebben op de kleur van de garnalen na bereiding (koken). Daarnaast was er geen verschil in voedingswaarde, groeisnelheid en uitval van de garnalen gemeten ten opzichte van de controle (0% MaB vlokken). Een mogelijke verklaring voor de intensere kleur in de garnalen is de relatief hoge concentratie carotenoiden in de MaB vlokken, 6,63 mg/g as-vrije droge stof.

Uit de testen blijkt dat het gebruik van MaB vlokken als voeding voor garnalen, gekweekt op afvalwater uit de visteelt, technisch haalbaar is. Echter heeft de kostprijs en wet- en regelgeving een grote invloed op de inzet van de vlokken op grote schaal. De kostprijs van gedroogde en gemalen vlokken mag niet hoger zijn dan € 0,1/kg om op gelijk niveau te blijven met de kosten van het referentievoer. Daarnaast is de inzet van MaB vlokken gekweekt op urine of ontlasting afkomstig uit de visteelt aan diverse Europese regels onderhevig. Wanneer MaB vlokken in een recirculatie-filtratiesysteem worden gekweekt kan mogelijk worden voldaan aan de wet- en regelgeving en kunnen de vlokken worden ingezet als voeding in de visteelt. MaB vlokken gekweekt op afvalwater vanuit de voedings- en voedermiddelenindustrie, waarbij het water wordt hergebruikt, lijkt volgens de auteur minder onderhevig aan wet- en regelgeving.

## 6 Nederlandse initiatieven voor verwaarding van nutriëntstromen

### 6.1 Onderzoeksrapport: Effluentpolishing met algen in RWZI's hoofdrapport

#### Inleiding:

In het rapport [1] wordt vermeld dat de RWZI's van de huidige generatie in veel gevallen een ontoereikende effluentkwaliteit produceren om in de nabije toekomst de gewenste kwaliteit van het oppervlaktewater te realiseren. Vooral de lozing van stikstofverbindingen en fosfaten is in vele gevallen te groot. Kosten voor nageschakelde zuiveringstechnieken (tertiaire zuivering) om extra emissiereductie te realiseren worden volgens het rapport gekwantificeerd in de range van 850 miljoen tot 3,2 miljard €.

Als nageschakelde technologie kan zandfiltratie een sterke reductie realiseren in de emissie van zwevende stof. In combinatie met chemische precipitatie/flocculatie worden ook opgeloste fracties van bijvoorbeeld fosfaat vergaand verwijderd. De kosten van zandfiltratie zijn aanzienlijk, terwijl de flocculanten het effluent met extra zout en zuur belasten.€€

Vanuit de RWZI's is er behoefte aan:

- Verbetering van effluentkwaliteit, met name op het vlak van nutriëntconcentraties
- Een methode die op korte termijn geïntroduceerd kan worden
- Kostenreductie t.o.v. huidig gebruikte technologie

De vraag vanuit de RWZI's is of de algentechnologie kan bijdragen aan het vervullen van de behoeftes.

#### Onderzoeksvraag:

Het ontwikkelen van een algenreactor van een zo compact mogelijke configuratie waarbij restconcentraties in het effluent in de grootte orde van 2,2 mg/l totaal stikstof en 0,15 mg/l totaal fosfor behaald kunnen worden (enkel voor het zomerhalfjaar). Het effluent van een goed draaiende RWZI bevat gewoonlijk ~10 mg  $N_{\text{totaal}}$ /l en ~1 mg  $P_{\text{totaal}}$ /l.



## Pilotonderzoek:

Tabel 16. Overzicht algenvijver pilotonderzoek

Locatie	RWZI Alkmaar
Oppervlak	112 m <sup>2</sup>
Geteste dieptes	20 tot 50 cm
Type	Raceway
Voorstuwing vloeistof	Schoepenrad
Aantal vijvers	2 stuks
Onderzoekperiode	Zomer 2009 en 2010
Algensoort	Onbekend, meerder soorten aanwezig
Voeding vijver	Effluent RWZI

## Toepassing biomassa:

In het onderzoek wordt genoemd dat de algen ingezet kunnen worden als grondstof voor vergisting of (na opwerking) als meststof.

## Resultaten:

Als stuurparameter voor verwijdering van nutriënten bleek de verblijftijd het grootste effect te hebben. De optimale algenproductie en dus nutriëntverwijdering bleek in dit onderzoek plaats te vinden bij een oppervlaktebelasting van effluent tussen 0,10 en 0,20 m.d<sup>-1</sup> en een verblijftijd van 2,5 dagen of meer. Fosfaatverwijdering bereikt een percentage tussen 80% en 100%. Ook stikstofverbindingen, inclusief opgeloste organisch gebonden stikstof, bleek verregaande door de algen te worden opgenomen. De concentratie nitraatstikstof in het vijvereffluent varieerde tussen 0 en 2 mg/l. In de maand juli bleek de algenproductie te liggen tussen de 12 en 18 g ds.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. Bij gebruik van een filterdoek met een poriegrootte van 20 micrometer op een trommelfilter in combinatie met een algenconcentratie in de vijver van >100 mg/l bleek het drogestofgehalte in het vijvereffluent tussen de 0 en 20 mg/l te liggen. Bij lagere algenconcentraties lag het drogestofgehalte tussen de 0 en 10 mg/l met een gemiddelde van 3,3 mg/l.

Op basis van diverse uitgangspunten is een model opgesteld om benodigde oppervlakte en de investerings- en exploitatiekosten te berekenen van een praktijkinstallatie voor effluentpolishing met behulp van algen. Uit dit model kwam naar voren dat de specifieke behandelingskosten in de range van 0,07 tot 0,21 € per m<sup>3</sup> zitten bij een installatie voor 20.000 i.e.<sub>136</sub> (136 = totaal zuurstof verbruik wat overeenkomt met de gemiddelde vervuiling die per bewoner per dag wordt geproduceerd) en 0,06 tot 0,17 € per m<sup>3</sup> bij een installatie voor 100.000 i.e.<sub>136</sub>. Voor alle kosten is een onzekerheidsmarge van +/- 50% aangehouden. Het benodigde vijveroppervlak bedraagt 3,8 m<sup>2</sup> per inwoner equivalent. De bijbehorende totale investering voor 20.000 i.e.<sub>136</sub> en 100.000 i.e.<sub>136</sub> bedraagt volgens het rapport €1.9 mln en €8,3 mln en totale jaarlijkse kosten €202.000 en €836.000

Het rapport doet geen melding over onderzoek gedaan naar verdere verwaarding van de geproduceerde algenbiomassa. Wel meldt het onderzoek dat wanneer de opbrengstprijz van -200 €/ton algen (kosten voor b.v. afvoer) stijgt naar 500 €/ton algen de behandelingskosten van het afvalwater meer dan halveren. Ook meldt het rapport niet hoeveel biomassa er geproduceerd is in de uitgevoerde onderzoeken.



*Figuur 4. Eén van de twee onderzoeksvijvers op locatie RWZI Alkmaar*

Bronnen: [1, 2]

## 6.2 Onderzoeksrapport: Effluentpolishing met kroos koepelrapport

### Inleiding:

Ook dit rapport [26] meldt dat Nederland nog een forse opgave kent om aan de vereisten van de Kader Richtlijn Water (KRW) te voldoen. Als oplossing wordt aangegeven dat de aanleg van meer natuurlijke oevers en het verbeteren van het rendement van de RWZI's mee kunnen helpen in het behalen van de richtlijnen. Een andere methode om te voldoen aan de KRW is het inzetten van kroos als nageschakelde, tertiaire, effluentzuivering. Het rapport stelt dat kroos zeer efficiënt nutriënten kan verwijderen en dat het op deze manier een goede bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de waterkwaliteit. Daarnaast produceert het kroos naast biomassa ook nog waardevolle eiwitten. Kroos heeft de potentie om ingezet te kunnen worden als biobrandstof of als component in veevoer.

### Algemene onderzoeksvraag (overgenomen uit het rapport):

Hoe kan het kweken van kroos in de Nederlandse zuiveringssituatie, als energiezuinige en kostenefficiënte, nageschakelde maatregel voor stikstof en fosfor verwijdering worden ingezet om daarmee een bijdrage te leveren aan een goede ecologische en chemische toestand van het oppervlaktewater in het jaar 2015? Bijkomende secundaire vraag: Hoe kan kroos als product worden afgezet en welke afzetmogelijkheid levert de meeste baten op?

### Uitgevoerde onderzoeken:

Na het uitvoeren van een literatuurstudie zijn er laboratoriumexperimenten- en vervolgens pilotstudies uitgevoerd. Ook is er gekeken naar kroos als product. Verder werden er modelberekeningen gemaakt die vervolgens zijn gebruikt in een modelsysteem om een haalbaar en betaalbaar kroosweekstelsel op te zetten. In de onderzoeken is gekeken naar 2 kroos soorten, de Lemnaceae en de Azollaceae.



Figuur 5. Pilotopstelling locatie Eelde, links Lemna en rechts Azolla.

### Samenvatting resultaten en conclusies onderzoeksrapport:

Deze samenvatting geeft alleen de resultaten uit het onderzoeksrapport weer die relevant zijn voor dit rapport (geschiktheid waterige reststromen voor aquatische biomassa in lokale context). De samenvatting is gegeven in Tabel 17.

Tabel 17. Overzicht resultaten en conclusies effluent polishing met kroos

Vraagstelling/parameter	uitkomst
Inzet kroos voor effluentzuivering	Goed mogelijk in Nederlands klimaat. Opmerking: door licht- en temperatuurlimitatie is effluentzuivering met kroos in de winterperiode niet mogelijk. Mogelijk bied het verwarmen van teeltwater en bijlicht met LED een mogelijkheid tot het verlengen van het teeltseizoen.
Opbrengsten praktijkproef RWZI Eelde	29.000 – 40.000 kg droge stof ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup> . Deze opbrengst wordt gehaald bij een optimum kroosmatdichtheid van 500-1000 g versgewicht kroos m <sup>-2</sup> en een oogstfrequentie van eenmaal per week.
Nutriëntverwijdering	In de pilotstudie met Lemnaceae bleek een nutriëntverwijdering van 270 mg stikstof m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> en 70 mg fosfor m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> mogelijk te zijn.
Drogestofgehalte (DS) kroos	Tussen kroossoorten is een verschil in DS gevonden. Een grote invloed op het DS in kroos wordt ook veroorzaakt door de groeicondities, in de experimenten zijn waarden tussen 74 en 94% DS gevonden. De verschillen werden veroorzaakt door nutriëntlimitatie (minder = hoger DS), temperatuur (lage temperatuur = hoger DS) en licht (meer licht = hoger DS)
Gebruik van kroos	Volgens het rapport kan kroos ingezet worden als voeding voor vee (vers, ingekuild of gedroogd), op basis van het eiwitgehalte (~28% van droge stof) zou kroos een waarde hebben van 11 €/1000 kg vers product wanneer ingezet als veevoeding. In geval van gedroogd product heeft kroos een waarde van 129 €/1000 kg. Het inzetten van kroos t.b.v. biogas productie in co-vergisting heeft volgens het rapport geen meerwaarde aangezien de gasproductie gelijk is aan die van drijfmest en de mineralen aanwezig in kroos onder de gebruiksnormen dierlijke mest vallen. Mogelijk kunnen eiwitten met functionele eigenschappen worden gewonnen uit kroos, de marktprijs voor dit soort eiwitten is 2-3 €/kg concentraat. Kroos is nog niet toegelaten als voedingsmiddel voor vee
Kosten nazuivering met kroos	Op basis van de verkregen resultaten uit de laboratorium- en pilottesten is een case studie gedaan op de RWZI in Marum uitgaande van streefwaarden van 0,14 mg P/l en 4,0 mg N/l. Wanneer er 4,2 hectare aan kroosteelt wordt toegepast is het mogelijk de gestelde streefwaarden te halen en zouden de kosten uitkomen op 0,13-0,40€ m <sup>-3</sup> of per kg verwijderd nutriënt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• stikstof: 36-108€ kg<sup>-1</sup></li> <li>• fosfor: 117-351€ kg<sup>-1</sup></li> </ul> De kosten per kg verwijderd nutriënt wordt beoordeeld als duur, de kosten zitten met name in het drogen van het kroos. Wanneer dit niet wordt gedroogd komen deze kosten uit op de helft.

Bron: [24]



## 7 Reststromscreening

Diverse vloeibare reststromen zijn potentieel geschikt om algen op te telen. Bij ACRRES is een methode opgezet om in cultuurplaten (well plates) makkelijk een screening uit te kunnen voeren of een reststroom geschikt is voor algengroei, met de methode kan in een handzaam formaat meerdere stromen en algen tegelijkertijd getest worden. Deze methode geeft een "+/-" resultaat aangaande het wel of niet kunnen groeien van een soort alg op een reststroom en geeft voor de groeiende alg(en) een indicatie over de mate van groei op basis van vorming van biomassa. De screening wordt, waar van toepassing, in licht en donker condities toegepast om te zien of er heterotrofe groei van bepaalde soorten algen op de reststroom mogelijk is.

Inmiddels zijn er met de methode al een aantal reststromen gescreend, hieronder de beschrijving van de methode en de tot nu toe verkregen resultaten.

### Onderzochte reststromen:

1. Spoelwater perensortering
2. Voorspoeling melkrobot, locatie Lelystad
3. Reiniging melkrobot, locatie Lelystad
4. Reiniging melkrobot, locatie Hallum
5. Spuiwater gaswasser varkenshouderij, locatie Overloon
6. Aardappel protamylase AVEBE
7. Effluent afvalwaterzuivering (AWZI) AVEBE
8. Effluent anaerobe zuivering AVEBE

### Samenstelling van reststromen:

Van de verschillende reststromen zijn nutriëntconcentraties gemeten. De analyses zijn uitgevoerd met Hach-Lange reagentia en een Hach-Lange spectrofotometer.

Tabel 18. Analyses reststromen

Reststroom	ongefilterd		0,5 µm gefilterd			
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
	N-totaal	P-totaal	P-totaal	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	pH
1	3,45	0,26	0,02	0,40	0	6,94
2	nd	11,8	6,98(1)	2,49	1,53	7,04
3	6,97	185	20	0,09	0,09	2,28
4	30,6(1)	13,8(1)	16,9	5,17	2,45	6,81
5	5,99	nd	nd	5,28	nd	8,30
6(a)	58,2	19,9	15,9	20,1	14,3	6,10
7	12,4	0,99	0,70	5,94	1,34	7,90
8(b)	62,4	3,72	3,57	0,88	0,50	7,85
3N	123,5(2)	50,0(2)				

-nd: not determined, not determined

-(1) waarden niet betrouwbaar door ontstane vertroebeling tijdens de meting

-waarden van: (a): 100x verdund monstermateriaal, (b) 20x verdund monstermateriaal

-Bold's basal medium 3x stikstof (3N kweekmedium): referentiemedium

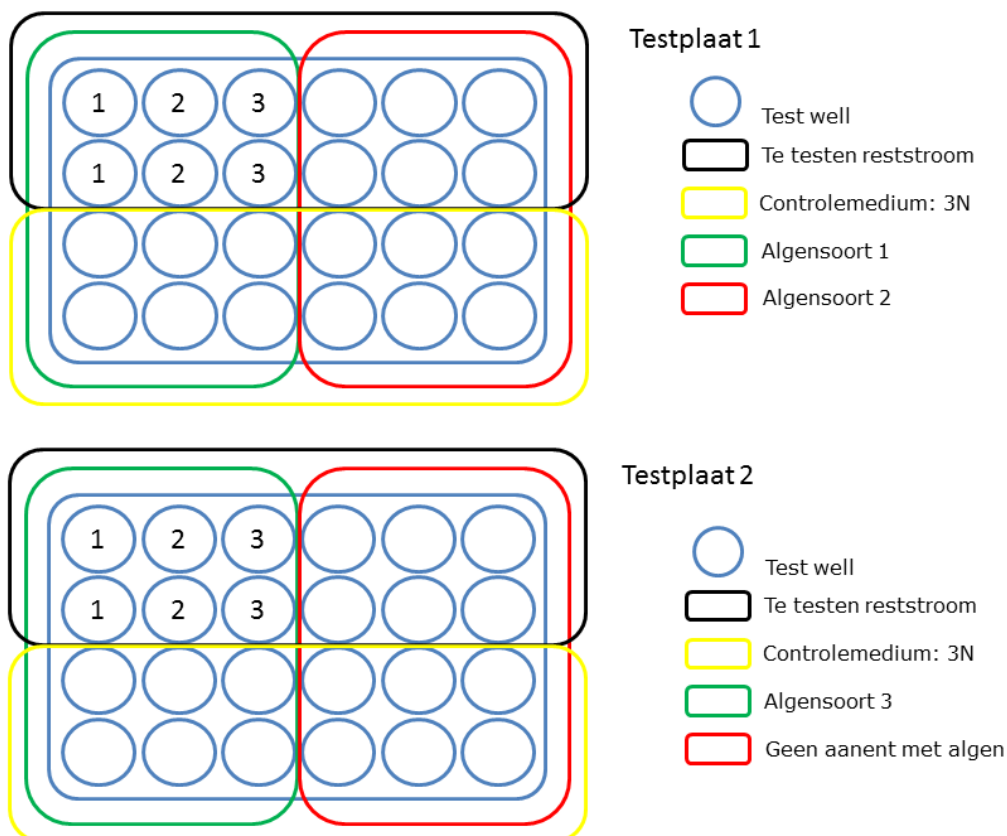
-(2) berekende waarde vanuit standaard protocol voor 3N BBM (Bold Basal Medium)

Gebruikte algensoorten voor de screening:

- Chlorella protothecoides*, SLYCP28
- Chlorella vulgaris* CV-5, CCAP211/11B
- Scenedesmus dimorphus*, CCAP 276/48
- Algen mix: *Phaeodactylum tricornutum*, CCAP 1055 en *Chlorella protothecoides*, SLYCP28
- Chlorella protothecoides*, SLYCP29

#### Testopzet:

Voor de screening is gebruik gemaakt van 24 wells platen, de wellplaten zijn in 4 testvlakken verdeeld. Voor de analyses werden boven elkaar liggende wells (1, 2 en 3) per testvlak gemiddeld tot 1 monster, per testvlak dus 3 herhalingen beschikbaar. In Figuur 1 is de proefopzet met kleurvlakken aangegeven (niet geschikt voor kleurenblinden)



Figuur 6. Testopzet reststroomscreening

Voor nutriëntstroom 1 t/m 4 en 6 t/m 8 zijn de volgende algensoorten gebruikt:

- Algensoort 1: *Chlorella protothecoides*, SLYCP28 (a)
- Algensoort 2: *Chlorella vulgaris* CV-5, CCAP211/11B (b)
- Algensoort 3: *Scenedesmus dimorphus*, CCAP 276/48 (c)

Voor nutriëntstroom 5 zijn de volgende algensoorten gebruikt

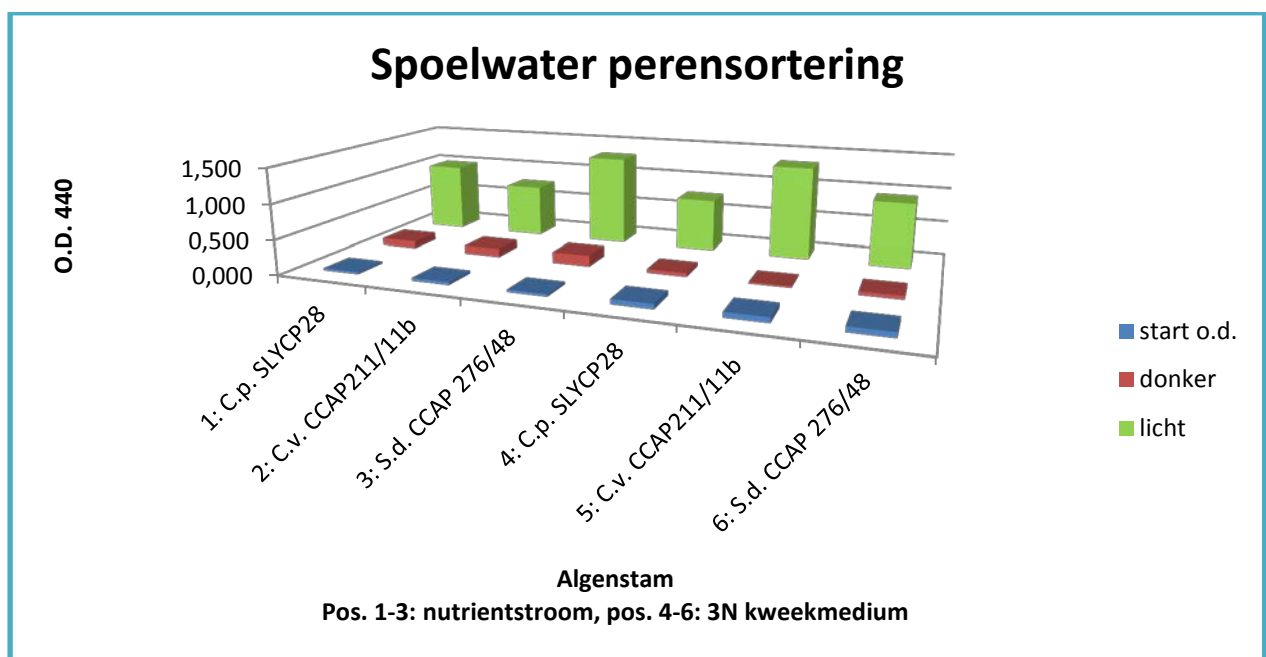
- Algensoort 1: Algen mix (d)
- Algensoort 2: *Chlorella protothecoides*, SLYCP29 (e)
- Algensoort 3: *Scenedesmus dimorphus*, CCAP 276/48 (c)

Kweekcondities:

- Temperatuur:  $\sim 23^{\circ}\text{C}$
- Incubatie in donkere omstandigheden in een klimaatkast
- Incubatie in lichte omstandigheden in laboratoriumomgeving waarbij de algen werden voorzien van extra licht middels rode LED lampen
- Wellplaten geplaatst op orbitaalschudder bij 300 rpm continu
- Kweekvloeistof 1,5ml nutriëntstroom of 3N kweekmedium + 0,5ml voorkweek algen

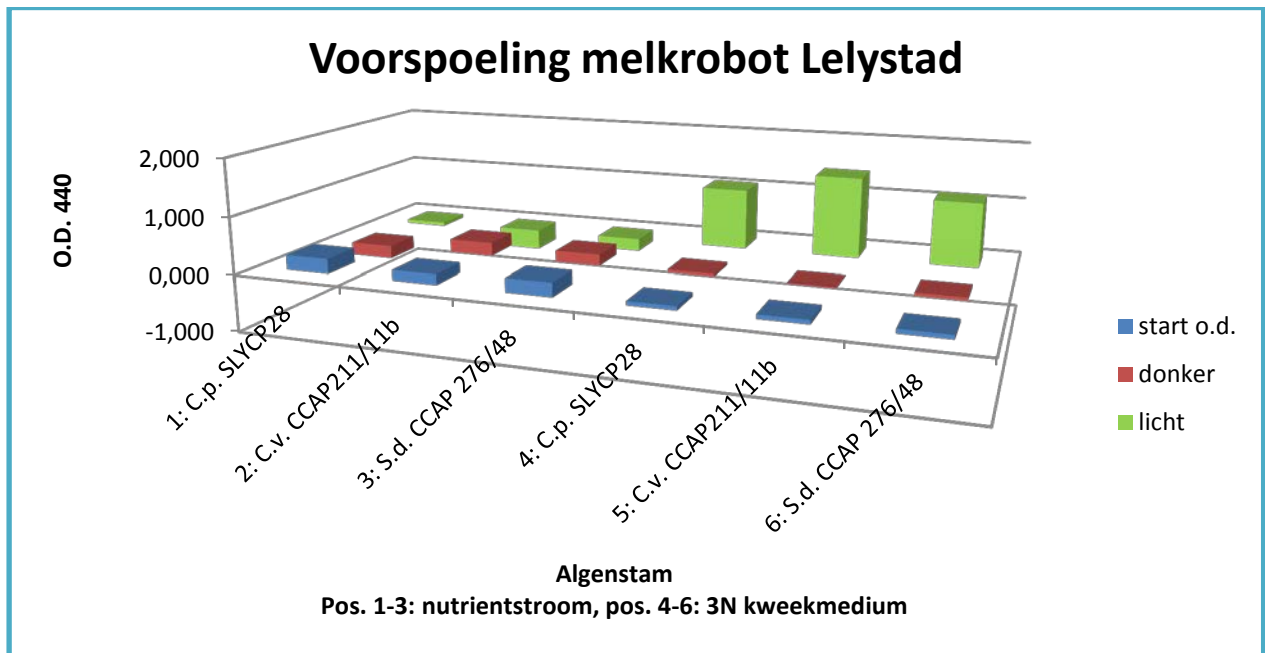
Resultaten:

De resultaten zijn weergegeven op basis van spectrofotometrische absorptie bij 440nm. Om het verschil tussen de startdichtheid en de dichtheid na 7 dagen goed weer te geven zijn de resultaten weergegeven in staafdiagrammen.

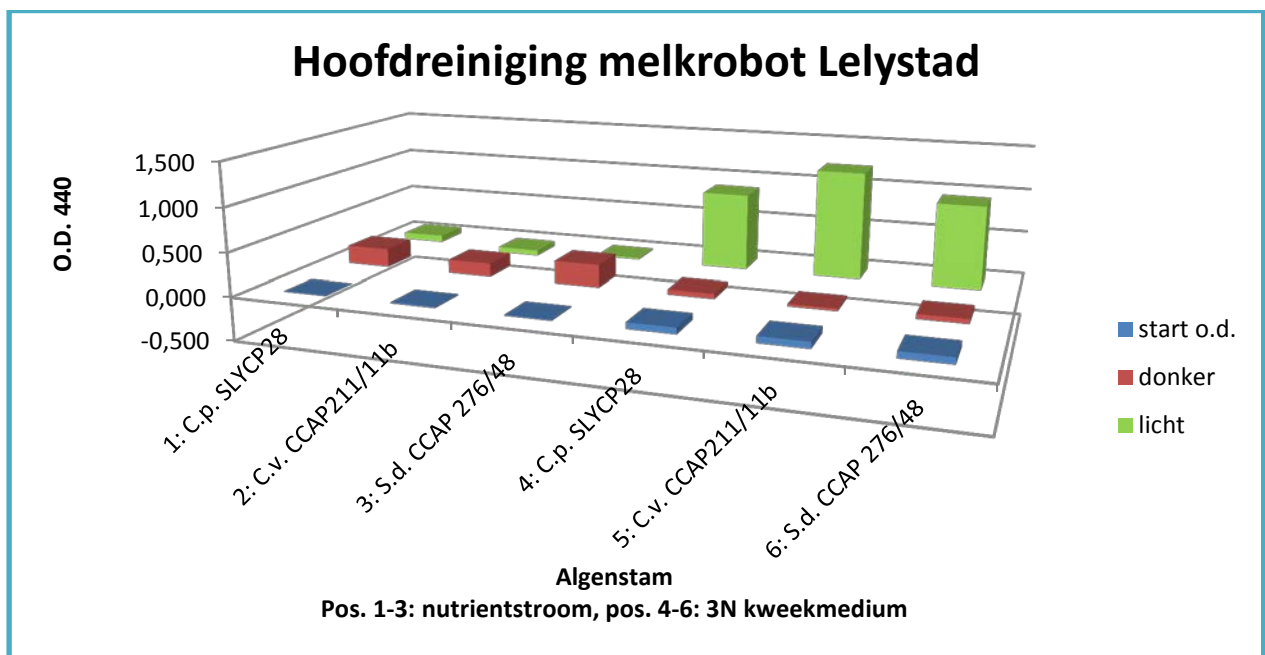


Figuur 7. Resultaten reststroom 1

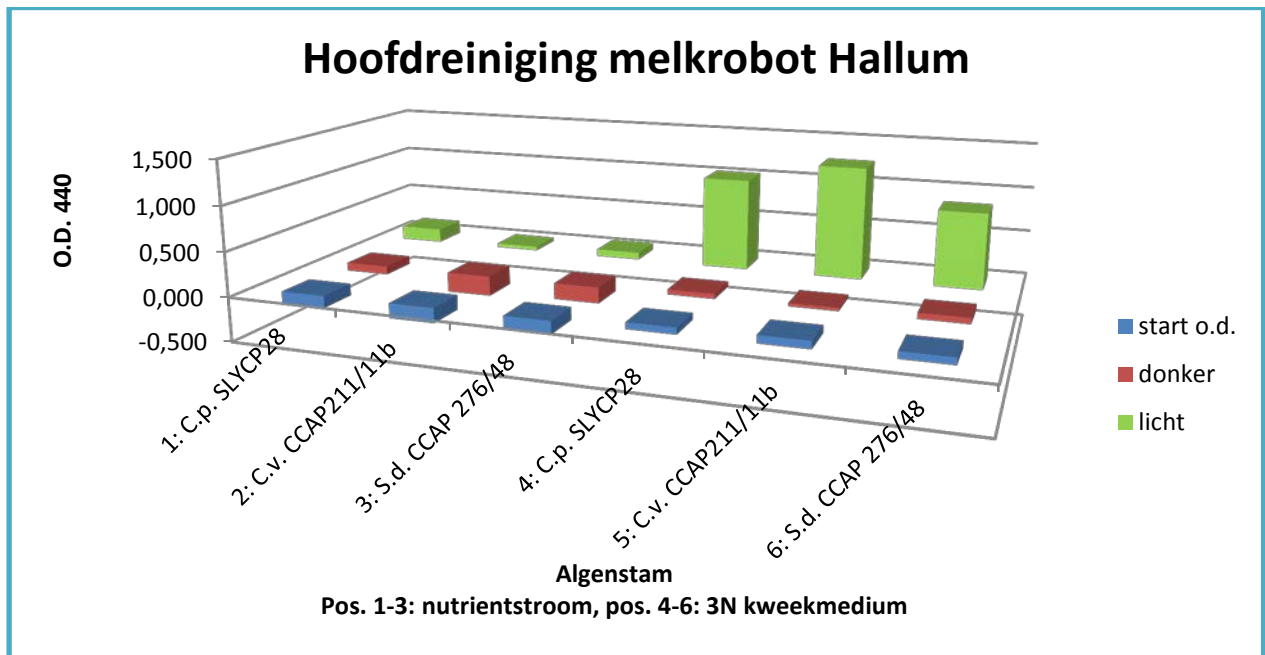




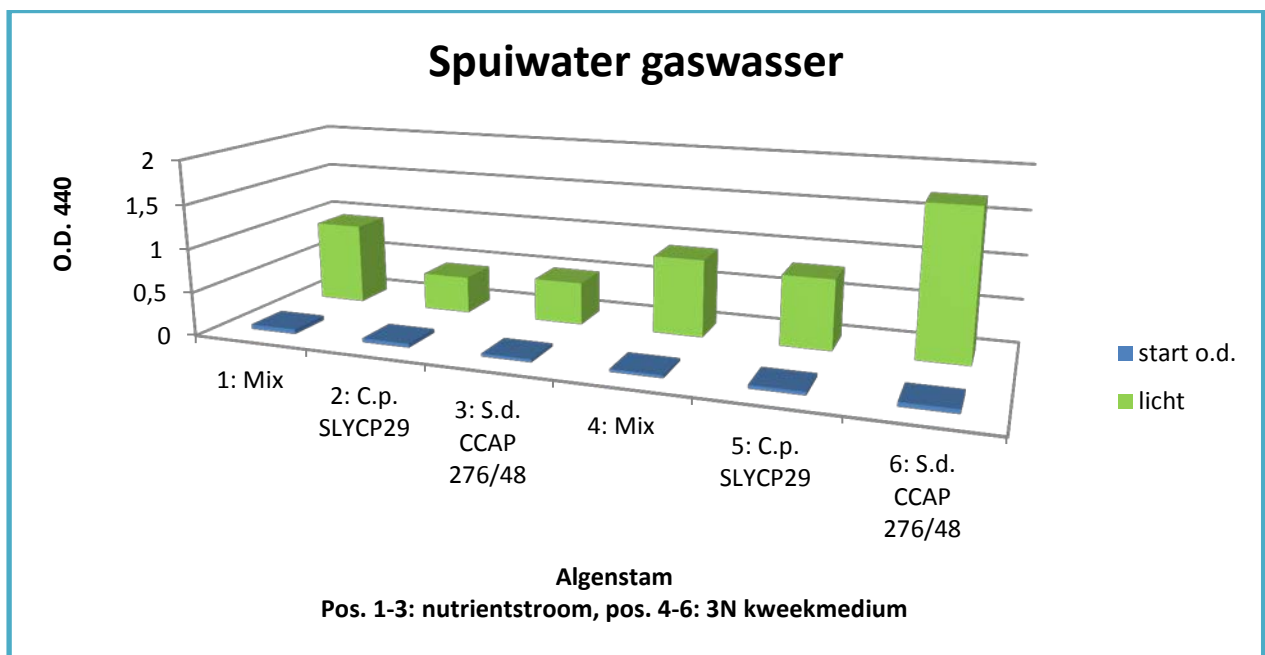
Figuur 8. Resultaten reststroom 2



Figuur 9. Resultaten reststroom 3

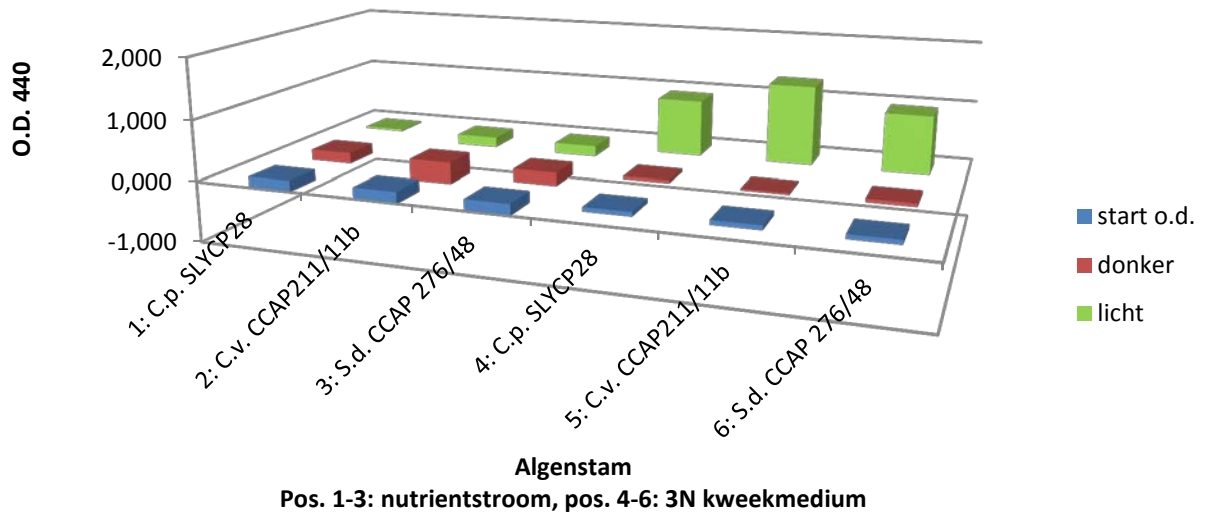


Figuur 10. Resultaten reststroom 4



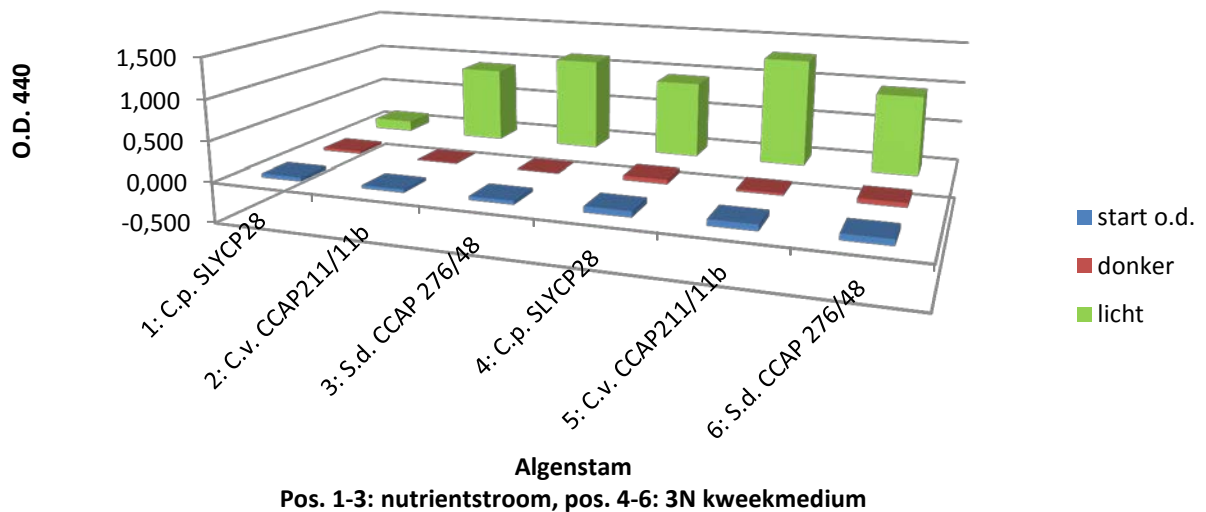
Figuur 11. Resultaten reststroom 5

## Aardappel protamylasse AVEBE

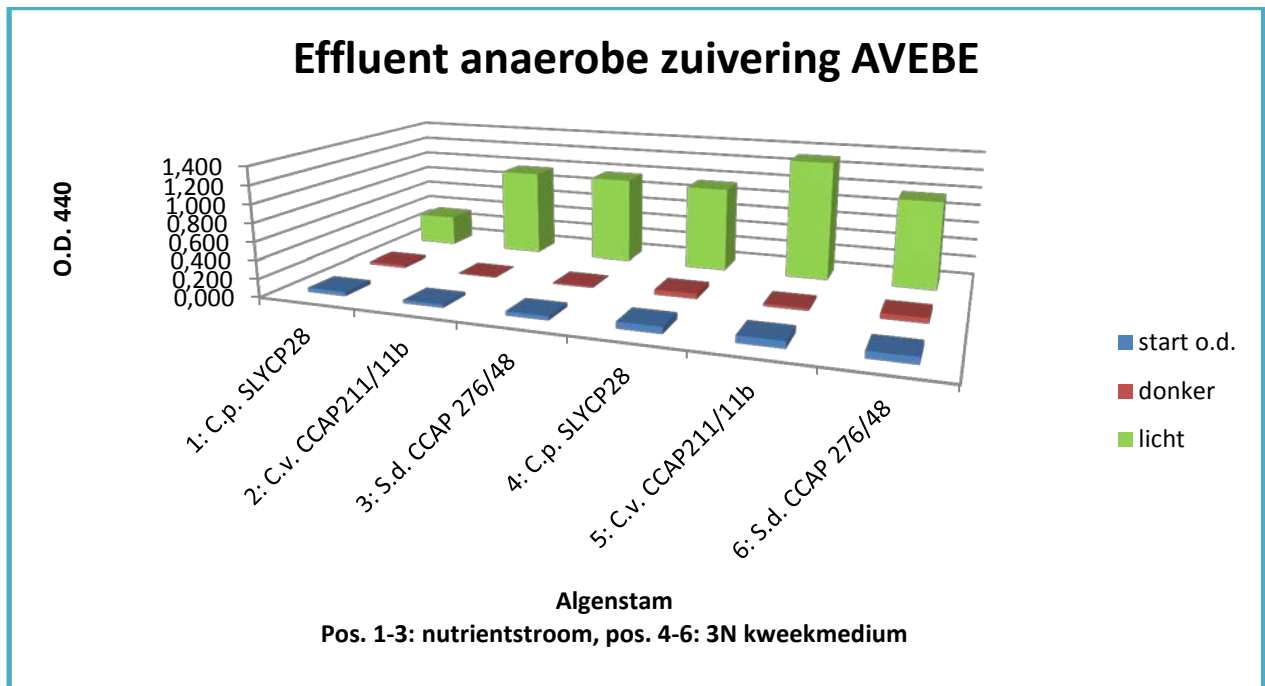


Figuur 12. Resultaten reststroom 6

## Effluent afvalwaterzuivering AVEBE



Figuur 13. Resultaten reststroom 7



Figuur 14. Resultaten reststroom 8

Gebruikte methoden voor berekening van optische dichtheden:

Berekening optische dichtheid:  $O.D._{t=xd} = O.D._{L+alg\ t=xd} - O.D._{L\ t=xd}$

$O.D._{t=xd}$ : optische dichtheid gecorrigeerd voor optische dichtheid van kweekvloeistof<sup>1</sup>  
 $O.D._{L+alg\ t=xd}$ : optische dichtheid van kweekvloeistof<sup>1</sup> met toegevoegde algen op  $t=xd$   
 $O.D._{L\ t=xd}$ : optische dichtheid van kweekvloeistof<sup>1</sup> op  $t=xd$

- $xd$ : aantal dagen
- 1: kweekvloeistof kan nutriëntstroom of 3N kweekmedium zijn
- berekeningen per conditie, start, donker of licht berekend

Als gevolg van de verdunning door het toevoegen van algen aan de nutriëntstromen is bij sommige testen een negatieve optische dichtheid ontstaan.

Tabel 19. Screeningsresultaten

	Licht					Donker				
Algenstam	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Nutriëntstroom										
1	++	++	++			+	-	+		
2	-	-	-			-	+	+		
3	-	-	-			+	+	+		
4	+	-	-			-	-	-		
5			++	++	++			nd	nd	nd
6	-	-	-			-	-	-		
7	+	++	++			+	+	+		
8	++	++	++			-	-	-		

++: dichtheid >50% t.o.v. dichtheid op controlemedium  
 +: dichtheid 10-50% t.o.v. dichtheid op controlemedium  
 -: dichtheid <10% t.o.v. dichtheid op controlemedium  
 nd: not determined, niet uitgevoerd

### Conclusie:

Over het algemeen laten de testen uitgevoerd in het licht een grotere toename van biomassa zien dan de testen uitgevoerd in het donker. In reststroom 2, 3 en 7 is er toename van biomassa geobserveerd in groeicondities zonder licht. Bij gebruik van reststroom 2 en 3 is de toename van biomassa in testcondities zonder licht groter dan in testcondities met licht. De toename van biomassa in reststroom 2, 3 en 7 in het donker kan worden verklaard door de aanwezigheid van voor de alg opneembare componenten die groei zonder licht mogelijk maken. Het is echter onduidelijk waarom in reststroom 2 en 3 de biomassa toename in testcondities zonder licht groter is dan de toename in testcondities met licht, mogelijk dat onder invloed van licht voor de algen toxische stoffen werden gevormd uit de reststroom. Reststroom 1,5,7 en 8 laten een goede groei (>50% t.o.v. dichtheid controlemedium) van algen zien. In microscopische observaties van de testen bleek met name in reststroom 6 een grote hoeveelheid bacteriën en schimmels aanwezig te zijn. Deze besmetting is mogelijk tijdens het uitvoeren van het experiment of via reststroom geïntroduceerd, als gevolg van de besmetting was de bepaling van algengroei niet goed uit te voeren.

De screening geeft een indicatie welke nutriëntstromen mogelijk geschikt zijn om verdere onderzoeken op uit te voeren. Als vervolgonderzoek zouden de stromen op een grotere schaal getest kunnen worden om een bredere set aan analyseparameters te verzamelen. In de testen kunnen bijvoorbeeld groeicurven van de algen worden opgesteld, het nutriëntverbruik worden bepaald en kan worden gekeken of door toevoegen van kleine hoeveelheden andere nutriënten de stromen beter kunnen worden opgenomen door de algen.

Deze testmethode kan ook gebruikt worden om andere soorten biomassa- en reststroomcombinaties te onderzoeken. Afhankelijk van het soort biomassa moet het volume of het oppervlak van de test worden aangepast.

### Doorontwikkeling:

Gezien de grote variëteit aan reststromen en de toenemende valorisatievraag van deze reststromen is bij ACRRES onlangs een doorontwikkeling van screeningsapparatuur gelanceerd. Met deze nieuwe apparatuur kunnen meer monsters in een kortere tijd worden gescreend onder zeer reproduceerbare condities. Tevens is het mogelijk de screening uit te voeren onder verschillende lichtintensiteiten en golflengtes. De technologie maakt gebruik van energiezuinige LED technologie.

## 8 Relatie biomassa tot reststroom

Op lokaal niveau worden bij bedrijven vloeibare reststromen van verschillende samenstelling geproduceerd. Om de reststroom maximaal tot waarde te brengen is een goede keuzeafweging van de te telen biomassa belangrijk. De te telen biomassa, de teeltmethode, het afzet kanaal, en eventuele raffinagemethode moeten passen bij de reststroom en de lokale situatie.

Om een goede keuze voor één of meerdere soorten biomassa te maken is het op de eerst plaats belangrijk om de chemische en fysische eigenschappen van de stroom te kennen. Op basis hiervan kan al een eerste selectie van soorten biomassa plaatsvinden of kan er worden besloten de reststroom eerst voor te behandelen alvorens in te zetten in de teelt van aquatische biomassa.

Een aantal belangrijke chemische en fysische eigenschappen op een rij:

- Concentratie macronutriënten: N, P, K, Ca, Mg, S
- Concentratie sporenelementen: Cu, Mo, Fe, Mn, Zn, .....
- Wat is de oorsprong van de reststroom?
- Aanwezigheid van gifstoffen, zoals bijvoorbeeld.: gechloreerde of fenolische componenten, gewasbeschermingsmiddelen, koolwaterstoffen,.....
- Aanwezigheid van andere, eventueel nuttige, stoffen
- Is er een vertroebelende werking van de reststroom?
- Aanwezigheid van onopgeloste deeltjes

Overwegingen op basis van de chemische en fysische eigenschappen:

- Aanwezigheid van hoge concentraties van bepaalde stoffen kan leiden tot groei-limitatie en soms zelfs tot afsterven van biomassa. Per soort biomassa moet worden uitgezocht welke toleranties er gelden voor welke stoffen.
- Een reststroom met een vertroebelende werking op het teeltwater zal minder geschikt zijn voor de teelt van fototrofe algen. Wanneer de reststroom opgeloste, voor algen opneembare, organische koolstofbronnen bevat kunnen mixotrofe algen er mogelijk wel op groeien.
- In de teelt van microalgen zijn onopgeloste deeltjes vaak niet wenselijk aangezien deze deeltjes tijdens het oogstproces mee kunnen komen in het eindproduct, de algenbiomassa.
- Een reststroom bestaande uit minerale nutriënten afkomstig uit een voedingsmiddelenproces kan geschikt zijn voor diverse aquatische biomassa bedoeld voor menselijke consumptie.
- Reststromen welke enkel in de zomermaanden beschikbaar zijn kunnen ook geschikt zijn voor de teelt van tropische en subtropische biomassa.

Naast de te verwaarden vloeibare reststroom kunnen andere parameters ook van belang zijn voor de biomassa keuze:

- Aanwezigheid van secundaire reststromen zoals CO<sub>2</sub> en restwarmte: het gebruik van deze reststromen verbeterd over het algemeen de groei van aquatische biomassa en maakt eventueel ook de teelt van warmte behoevende soorten mogelijk.
- Bruikbaar grondoppervlak: de combinatie van primaire en secundaire reststroom en faciliteiten (kassen, beschikbaar zonlicht, etc.) resulteren in een biomassaopbrengst per

oppervlak. Bij voldoende grondoppervlak kan een andere keuze voor een biomassa soort gemaakt worden dan bij beperkt beschikbaar grondoppervlak.

In sommige gevallen kan een geschakelde verwaarding van een reststroom plaatsvinden door bijvoorbeeld onopgeloste organische deeltjes te laten verwijderen door zoöplankton, na de oogst van het plankton kan de overgebleven reststroom nog gebruikt worden voor bijvoorbeeld de teelt van micro- of macroalgen. De methode kan mogelijk organische en minerale stoffen verwijderen waardoor er ook twee soorten (met wellicht ieder een eigen afzetmarkt) biomassa ontstaan. Afhankelijk van de situatie kunnen organische deeltjes ook worden verwijderd middels een voorbehandelingsstap op basis van chemische en/of fysische processen zoals bijvoorbeeld cavitatie flotatie of filtratie.

Ter illustratie enkele voorbeelden van reststromen, de te gebruiken aquatische biomassa en afzetmarkten:

Voor alle reststromen geldt: afhankelijk van afzetmarkt is risico-inventarisatie, controle en borging op potentieel gevaarlijke stoffen en micro-organismen in de biomassa noodzakelijk en kan een processtap zoals sanitatie of filtratie van de reststroom noodzakelijk zijn.

Tabel 20. Reststromen en mogelijke soorten biomassa en afzetkanalen

Reststroom	Biomassa	Afzetmarkt	Opmerking
Effluent RWZI	Algen, kroos, grassen, houtige gewassen (wilg)	<u>Geschikt:</u> Bouwstoffen, bio-energie.  <u>Waarschijnlijk minder geschikt:</u> feed, food	
Dunne fractie digestaat	Mogelijk alle soorten biomassa die niet of minder afhankelijk zijn van lichtpenetratie in het water	<u>Geschikt:</u> Bouwstoffen, bio-energie.  <u>Met juiste maatregelen wellicht geschikt:</u> Feed, food.	Wanneer dunne fractie als heldere stroom wordt gebruikt is lichtpenetratie een minder grote uitdaging.
Spuiwater gaswassers	Mogelijk alle soorten biomassa.	<u>Geschikt:</u> bouwstoffen, bio-energie.  <u>Met juiste maatregelen wellicht geschikt:</u> Feed, food.	
Spuiwater glastuinbouw	Met name zouttolerante biomassa.	<u>Geschikt:</u> bouwstoffen, bio-energie.  <u>Met juiste maatregelen wellicht geschikt:</u> Feed, food.	Vaak relatief hoog zoutgehalte en mogelijk aanwezigheid van gewasbeschermingsmiddelen
Procesafvalwater bierbrouwer	Diverse soorten biomassa	<u>Geschikt:</u> bouwstoffen, bio-energie.  <u>Potentieel:</u> Feed	Relatief troebele stroom. Voorzuivering kan hier mogelijk een oplossing bieden



## 9 Valorisatie aquatische biomassa

Het gebruik van fotosynthetiserende aquatische biomassa biedt goede mogelijkheden om reststromen lokaal tot waarde te brengen, de keuze welke soort of soorten waterplanten gebruikt kunnen worden hangt van af diverse factoren. Om een juiste keuze te maken moet onder andere goed in kaart worden gebracht wat de eigenschappen en mogelijkheden van de reststroom zijn, welke lokale verwaardingsopties er zijn en welke mogelijkheden er lokaal zijn voor de teelt van een bepaalde soort waterplant.

Het gebruik van eendenkroos levert potentieel een goede en snelle verwijdering van nutriënten op en kan een hoge biomassa opbrengst per oppervlak opleveren, echter kan bij gebruik van kroos op open oppervlakten makkelijk verwaaiing van het kroos optreden wat de groei negatief beïnvloedt, ook bevat kroos relatief veel water (over het algemeen ongeveer 93-95%). De oogst is daarentegen redelijk makkelijk uit te voeren en kroos bevat ongeveer 28% eiwit op basis van droge stof.

Ook microalgen kunnen goed ingezet worden om, met name relatief heldere, reststromen te verwaarden. Microalgen kunnen potentieel, net als eendenkroos, een hoge biomassa opbrengst per oppervlak leveren echter zijn de kosten die gepaard gaan met het scheiden van algen uit een waterige stroom nog relatief hoog. Daar tegenover staat dat algen in staat zijn veel verschillende waardevolle stoffen, zoals carotenoiden, oliën en eiwitten, te maken.

Diverse andere soorten waterplanten zoals macrofyten en helofyten hebben een biomassa opbrengst die vergelijkbaar is met zomer- en wintertarwe in Nederland, 7 – 10 ton droge stof/hectare, filamenteuze algen hebben over het algemeen een hogere opbrengst per hectare. Afhankelijk van de soort kunnen de waterplanten worden gebruikt voor het winnen van vezels voor de bouw- en papierindustrie, het winnen van carotenoiden, polyfenolen en eiwitten voor feed, food, chemie en farma of bijvoorbeeld worden ingezet als groenbemester. Het oogsten van dergelijk planten kan mogelijk worden uitgevoerd met machines die nu al door waterschappen worden gebruikt om slootkanten te maaien. Er is nog relatief weinig kennis van deze soorten waterplanten in relatie tot het verwaarden van een reststroom in het Nederlands klimaat, het uitwerken van een duidelijk business case is hierdoor nog niet goed uit te voeren.

De inzet van algen en eendenkroos is in Nederland op diverse plaatsen onderzocht, twee van deze onderzoeken en de bijbehorende resultaten in relatie tot RWZI effluent zijn beschreven in dit rapport. Hieronder is voor een aantal andere waterplanten een voorbeeld van biomassa- en inhoudsstoffenopbrengst weergegeven en is de mogelijke waarde van de inhoudsstoffen berekend, ter vergelijking is dit ook weergegeven voor de microalg *Chlorella*. In dit theoretische voorbeeld is uitgegaan van RWZI effluent als mineralenbron (9 mg/l stikstof en 1 mg/l fosfor). Gegevens van waterplanten zoals biomassa opbrengst per hectare, minerale samenstelling en eiwitgehalten zijn verzameld uit diverse rapporten en literatuurstukken. Het optimaliseren van een teelt van waterplanten door ontwerp van ideale teeltbassins, oogstoptimalisatie, het gebruik van rookgas (CO<sub>2</sub>), etc kan de opbrengst per oppervlak mogelijk sterk verbeteren. Kosten voor oogsten, schonen, drogen, bioraffinage, investeringen etc zijn niet meegenomen.

In de berekeningen is uitgegaan van volgende uitgangspunten:

- Verwijderingsefficiëntie van nutriënten uit RWZI effluent: 80%
- Op basis van de verhouding stikstof (N) en fosfor (P) in de soort aquatische biomassa is berekend wat er mogelijk aan biomassa gevormd kan worden op de aanwezige nutriënten in RWZI effluent. De verhouding N en P in de waterplanten is zelden gelijk aan de

verhouding in het effluent hierdoor zal de verwijdering van één van de componenten N of P soms minder zijn dan de gestelde 80%

- In de berekeningen is geen rekening gehouden met andere nutriënten zoals magnesium, kalium, sporenelementen etc.
- De waarde van ruw eiwit gelijkgesteld aan de marktprijs voor sojameel: 340 dollar/100 kg (waarde op 10 juli 2015)
- De waarde van lipiden/olie gelijkgesteld aan de marktprijs voor sojaolie: 716 dollar/1000 kg (waarde op 10 juli 2015)
- De waarde van xantofyl is ingeschat op 250 €/kg
- De waarde van cellulose wordt onder andere bepaald door de kwaliteit. De cellulosekwaliteit in de voorbeeldwaterplanten is onbekend maar waarschijnlijk gelijk of beter dan de cellulosekwaliteit van grassen of riet. Als rekenwaarde is hier gebruik gemaakt van een goede kwaliteit cellulose uit gras: € 150/ton [26].
- In de berekeningen is uit gegaan van 100% recovery van verschillende componenten.

Tabel 21. Basisgegevens diverse soorten aquatische biomassa

	Droog gewicht (DW)	As rest	Ruw eiwit	Ruw vet / lipiden	Cellulose	Stikstof (N)	Fosfor (P)	Xantofyl	Biomassa
	%	%	%	%	%	%	%	mg/kg	t/ha/jr
<b>Ondergedoken planten</b>				Ruw vet					
Grof hoornblad	8.5	20.6	20	6	28	3.3	0.26	500	8
Braziliaans vederkruid	14	11	14	4	20	2	0.16	1000	8
Waterpest	10	22	20	3	30	2.6	0.43	600	6.5
<b>Helofyten</b>									
Grote lisdodde	23	7	10	4	33	1.4	0.2	Ob	15
Amerikaanse egelskop	11	11	24	8	20	2.1	0.4	Ob	6.5
<b>Macroalgen</b>				Lipide n					
<i>Oedogonium</i> sp.	16	12.7	25	18	29.4	3.5	0.4	Ob	15
<i>Spirogyra</i> sp.	6	11.7	17	14	10	2.5	0.2	Ob	7
<b>Microalgen</b>									
<i>Chlorella</i>	27	6	35	12	Ob	6.1	1.5	1200	15

Ob: Onbekend

Potentiele opbrengst en waarde van waterplanten en hun inhoudsstoffen:

Tabel 22. Potentiele productie en waarde aquatische biomassa op RWZI effluent

	Effluent productiviteit (80%)	Zuiverings potentie per hectare	Eiwit productie	Cellulose productie	Xanthophyl productie	Waarde ruw eiwit	Waarde lipiden	Waarde cellulose	Waarde xanthophyll	Totaal waarde
	kg DW/m <sup>3</sup>	1000 m <sup>3</sup> /jr	kg/ha/jr	kg/ha/jr	gr/ha/jr	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
<b>Ondergedoken planten</b>										
Grof hoornblad	0.22	26	1600	2240	4000	€ 593	€ 375	€ 336	€ 1,000	€ 2,304
Braziliaans vederkruid	0.36	16	1120	1600	8000	€ 415	€ 250	€ 240	€ 2,000	€ 2,905
Waterpest	0.19	23	1300	1950	3900	€ 482	€ 152	€ 293	€ 975	€ 1,901
<b>Helofyten</b>										
Grote lisdodde	0.40	29	1500	4950		€ 556	€ 468	€ 743		€ 1,767
Amerik. egelskop	0.20	19	1560	1300		€ 578	€ 406	€ 195		€ 1,179
<b>Macroalgen</b>										
<i>Oedogonium</i> sp.	0.20	13	3750	4410		€ 1,390	€ 1,107	€ 662		€ 4,158
<i>Spirogyra</i> sp.	0.29	24	1190	700		€ 441	€ 765	€ 105		€ 1,311
<b>Microalgen</b>										
<i>Chlorella</i> sp.	0.05	127				€ 1,946	€ 1,405		€ 4,500	€ 7,850

Een goed onderzocht en opgezet bioraffinage proces kan mogelijk de waarde van de waterplantenbiomassa verder verhogen. Naast eiwit en cellulose kunnen vetten/oliën, vitamines, planttoxines, chemicaliën, kleurstoffen, etc worden gewonnen uit de biomassa. Daarnaast kunnen wellicht nutriënten worden teruggewonnen en kan de overgebleven biomassa worden aangewend als energiebron.

De economische waarde van *Chlorella* als gevolg van gerealiseerde verbeteringen voor vleeskuikens laat zien dat de waarde van *Chlorella* in bovenstaande tabel wordt onderschat. Het rapport "Kansen voor microalgen als grondstofstroom in diervoeders" laat zien dat op basis van dierprestaties *Chlorella* maximaal € 5,25/kg drooggewicht mag kosten. De waarde, bij een zelfde *Chlorella* opbrengst per hectare, is in dat geval een factor 10 hoger dan is berekend op basis van een aantal inhoudsstoffen [32]. De economische waarde van de andere vermeldde soorten aquatische biomassa is nog onbekend, additioneel literatuuronderzoek kan wellicht extra informatie bieden.

Voor de berekening van de waarde van bepaalde componenten zijn aannames gebruikt die een mate van onzekerheid met zich meebrengen. Het uitvoeren van experimenten op een representatieve schaal kan op het vlak van biomassa vorming (snelheid en massa) en verwijdering van nutriënten de waardebepaling meer nauwkeurig maken. Daarnaast kunnen andere

onderzoeken naar afzetkanalen, afzetmarkt en mogelijkheden voor bioraffinage van de biomassa etc. in combinatie met de productiviteit leiden tot een business case.

## 10 Discussie

Door de lage temperaturen in de winterperiode is de teelt van biomassa zonder voorzorgsmaatregelen in deze periode niet of nagenoeg niet mogelijk. Dit houdt ook in dat gedurende deze laag productieve perioden de verwijdering van nutriënten geminimaliseerd is, afhankelijk van de business case kan dit een ongewenste situatie zijn. De seizoensafhankelijkheid is dus een belangrijke factor om rekening mee te houden in het ontwerpproces en een business case aangaande de verwaarding van waterige reststromen middels aquatische biomassa.

Mogelijk dat het gebruik van LED verlichting en restwarmte het teelt seizoen kan verlengen of zelfs het hele jaar mogelijk maakt. Het gebruik van kassen of andere lichtdoorlatende en isolerende maatregelen geven ook extra mogelijkheden op verlengen van het teeltseizoen, ook is het wellicht mogelijk om tropische soorten biomassa te telen wanneer de teelt in bijvoorbeeld kassen plaatsvindt.

De mogelijkheden en de kosten voor het verlengen van het teeltseizoen kunnen worden afgezet tegen de waarde van de afzet van de biomassa om een uitspraak te kunnen doen over de financiële haalbaarheid.

Sommige reststromen bevatten suikers, eiwitten/aminozuren of hoge concentraties organische stoffen. Het gebruik van dergelijke reststromen in de screeningstesten uitgevoerd met microalgen bleek de groei van schimmels en bacteriën dusdanig te ondersteunen dat ze de microalgen overgroeiden. Om de groei van ongewenste micro-organismen te voorkomen is het mogelijk de reststroom te steriliseren of te pasteuriseren waarna onder strikte hygiëne condities een verwaarding, met bijvoorbeeld algen, kan plaatsvinden. Wellicht kunnen suiker- en/of eiwitrijke stromen eerste worden voorbehandeld door de koolstofbronnen te vergisten (tot ethanol) waarna de overgebleven nutriënten ter verwaarding kunnen worden aangeboden aan waterplanten. Een andere mogelijkheid voor het verwaarden van stromen rijk aan organische stoffen is bijvoorbeeld de productie van MaB vlokken als voeding voor garnalen (zie hoofdstuk 6, Sophie van den Ende et al.)

Het gebruik van ondergedoken waterplanten (microalgen, macroalgen en helofyten) in combinatie met vertroebelende reststromen kan mogelijk groeihinder veroorzaken wanneer grotere dieptes van teeltbassins wordt gebruikt. Het verwaarden van vertroebelende reststromen kan succesvol zijn wanneer de juiste soort biomassa wordt gebruikt, het teeltsysteem wordt aangepast aan de condities of wanneer de vertroebelende stof kan worden verwijderd. Als oplossing voor vertroebelende reststromen kan er bijvoorbeeld worden gekozen voor een tweetraps oplossing, in de eerste trap kunnen helofyten worden ingezet om de vertroebeling en een deel van de nutriënten weg te vangen, in de tweede trap kunnen ondergedoken waterplanten worden gebruikt om de rest van de nutriënten weg te vangen. Een fysisch of chemisch voorbehandelingsproces kan wellicht ook worden ingezet om een vertroebeling te reduceren of zelfs geheel te verwijderen.

## 11 Conclusie

In Nederland komen bij bedrijven waterige reststromen voor, de samenstelling van de reststromen verschilt tussen industrieën: dunne fractie van digestaat bevat bijvoorbeeld nog relatief veel organische stof terwijl spuiwater uit de glastuinbouw met name mineralen bevat.

Uit diverse rapporten en publicaties blijkt dat er breed onderzoek is uitgevoerd op het vlak van waterzuivering middels aquatische biomassa echter heeft het onderzoek in veel gevallen als doel een rest(afval)stroom te zuiveren en is het minder gericht op verwaarding van de reststroom door gebruik te maken van aquatisch biomassa. De verwaarding van aquatische biomassa middels bioraffinage is een onderwerp dat nauwelijks onderzocht blijkt te zijn.

Naast de relatief veel onderzochte microalgen en kroossoorten zijn er nog veel andere soorten aquatische biomassa zoals macroalgen, macrofyten en helofyten welke potentieel goed ingezet kunnen worden om reststromen te verwaarden. De keuze welke soort biomassa het meest geschikt is om een bepaalde reststroom te verwaarden hangt af van factoren als de aard van de reststroom, eventuele lokale afzet van biomassa, mogelijkheden tot lokale raffinage etc.

Het screeningsonderzoek uitgevoerd met microalgen op diverse reststromen laat zien dat het op kleine schaal, in de vorm van een indicatief resultaat, goed mogelijk is om de biomassa-reststroom combinatie te onderzoeken. De methode kan niet alleen worden gebruikt voor microalgen maar is ook geschikt, in eventueel aangepast volume, voor macroalgen, kroos en macrofyten. De resultaten zijn een goede basis voor vervolgstudies.

Een inschatting van de waarde van op reststromen gevormde biomassa gaat samen met een aantal aannames die een onzekerheid met zich meebrengen. Wanneer bepaalde soorten biomassa, of componenten daaruit, worden afgezet richting voeding voor mens of dier moet worden voldaan aan geldende regels en kan het mogelijk noodzakelijk zijn om de biomassa te registreren als nieuwe gewas ten behoeve van het desbetreffende doel of is het nodig aanvullende risicoanalyses uit te voeren.

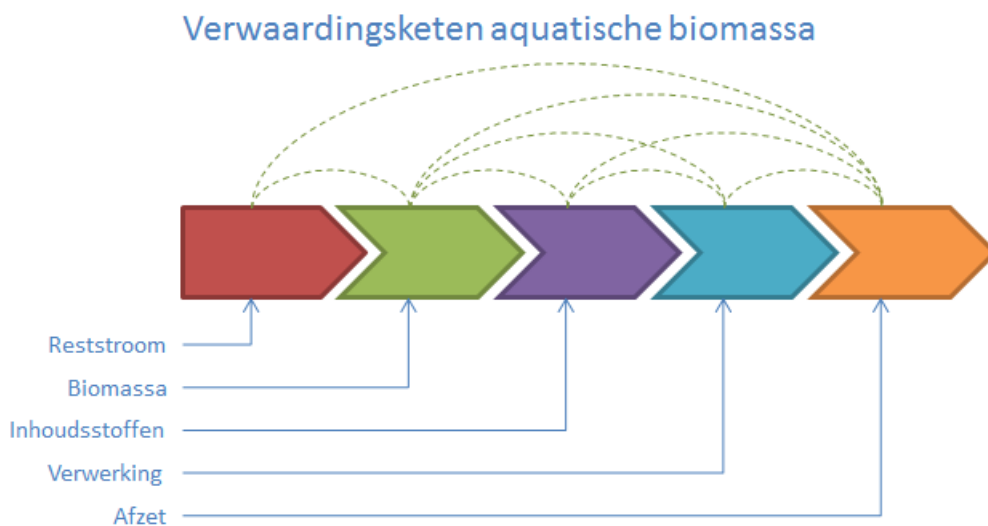
Het gebruik van aquatische biomassa om waterige reststromen op lokaal niveau te verwaarden lijkt, gezien de grote variatie aan verschillende soorten biomassa, kansrijk te zijn. Ook de breedheid en de diversiteit van reeds uitgevoerd onderzoek geeft aan dat verschillende soorten aquatische biomassa onder verschillende condities in staat zijn om diverse nutriënten uit de reststromen te verwijderen. Het daadwerkelijk verwaarden van gevormde biomassa is weinig beschreven en ook lastig te bepalen aangezien daadwerkelijke biomassavorming, bioraffinage, afzetmarkten en afzetmogelijkheden niet voldoende duidelijk zijn. Door uitgebreider onderzoek te verrichten kunnen de kansen voor diverse soorten biomassa goed in kaart worden gebracht.

Het gebruik van aquatische biomassa om nutriënten uit een reststroom te verwijderen lijkt een kansrijke methode om een verwaarding van reststromen te realiseren. Extra onderzoek is nodig om op reststroom-en afzet niveau de kansen voor verwaarding goed te kunnen bepalen.

## 12 Aanbeveling

Er is nog relatief weinig bekend over de opbrengst per oppervlakte van aquatische biomassa geteeld op reststromen in het Nederlandse klimaat, uitzonderingen hierop zijn microalgen en eendenkroos. Daarnaast zijn de mogelijkheden om op reststromen geteelde biomassa af te zetten en de waarde daarvan nog nauwelijks bekend of onderzocht.

Om de verwaardingskansen voor diverse soorten aquatische biomassa goed in kaart te kunnen brengen is uitgebreider onderzoek nodig. De keten van reststroom naar de afzet van biomassa bestaat uit diverse schakels, zoals weergegeven in Figuur 15. Verschillende schakels kunnen een invloed hebben op andere schakels, deze relaties zijn aangegeven met stippellijnen en kort toegelicht in de verklaring van de schakels. Een verdere detaillering en uitwerking van de keten is nodig om deze in te kunnen zetten als tool voor praktijkgerichte studies.



*Figuur 15. Verwaardingsketen aquatische biomassa*

Verklaring schakels:

### Reststroom:

De eigenschappen van een reststroom bepalen mede de afzetmarkt van de biomassa, een reststroom met giftige stoffen of zware metalen kent waarschijnlijk een andere afzetmarkt dan een schone reststroom. Het verdient de voorkeur een goed beeld van de samenstelling, volumes, eigenschappen, variatie in volumes etc. van de reststroom te hebben alvorens te starten met biomassa onderzoeken.

Relaties: biomassa, afzet

### Biomassa:

Wat is de productiviteit van een soort biomassa per oppervlak in een bepaalde tijd op een bepaalde reststroom, oftewel wat is de productiviteit. Deze kennis is noodzakelijk om een teelt- en



verwerkingsproces te kunnen ontwerpen en de verwaarding van de reststroom te kunnen bepalen. Ook is dit onderzoek belangrijk om teeltparameters zoals nutriëntverwijdering en seizoensproductiviteit te kunnen bepalen. Daarnaast zijn de mogelijkheden voor directe afzet van biomassa of de inhoudsstoffen uit de biomassa ook belangrijk voor de waardebeoordeling.

Relaties: reststroom, inhoudsstoffen, verwerking, afzet

#### Inhoudsstoffen:

Naast de productiviteit is de samenstelling van de biomassa bepalend voor de waarde: eiwitten, carotenoiden en vetten zijn in de regel meer waard dan bijvoorbeeld cellulose. Echter wanneer biomassa lokaal geteeld en verwerkt kan worden in bestaande bedrijfssystemen kan de balans positief uitpakken voor relatief laagwaardige componenten. De relatie tussen inhoudsstoffen en de verwaarding daarvan moet dus ook op lokaal niveau worden bekeken. De verdere verwerking van de biomassa hangt ook af van eventueel te winnen inhoudsstoffen.

Relaties: biomassa, verwerking, afzet

#### Verwerking:

De verwerking van de biomassa hangt af van het soort biomassa, de inhoudsstoffen en de afzetmarkt. Wanneer biomassa wordt gebruikt als veevoer kan de biomassa worden gedroogd of worden ingekuuld, mogelijk is het gebruik van vers product ook een optie. Voor het winnen van specifieke inhoudsstoffen uit de biomassa kan bioraffinage op droge of natte biomassa nodig zijn.

Relaties: biomassa, inhoudsstoffen, afzet

#### Afzet:

Wie zijn potentiële afnemers van biomassa of componenten daaruit, wat is de marktw waarde van de biomassa, welke bestaande biomassa of componenten daaruit kunnen worden gezien als concurrenten, wat is de marktw waarde hiervan en welke wet- en regelgeving is van kracht om deze biomassa af te kunnen zetten? Dit zijn belangrijke kernpunten uit deze schakel. De afzetmarkt heeft een grote invloed op de keten, afhankelijk van de behoefte kan de biomassa als vers product worden afgezet, verwerking is dan minder belangrijk. Bij vergaande raffinage van biomassa en een afzet van de producten in de feed- of voedingsmiddelenmarkt zijn wet- en regelgeving en verwerking van biomassa belangrijke onderwerpen.

Relaties: reststromen, biomassa, inhoudsstoffen, verwerking

Aanbeveling voor vervolg:

Op basis van de voorgestelde keten en de verzamelde kennis lijkt het onderzoeken van de schakels "biomassa" en "afzet" de meest waardevolle eerste stap. Het verzamelen van productiviteitscijfers van verschillende soorten biomassa onder Nederlandse condities geeft een goede basis om vervolgschakels in te kunnen vullen. Door verschillende typen (microalgen, macroalgen, macrofyten, helofyten, etc) biomassa te onderzoeken kan ook de potentie per type onderzocht worden. Literatuur kan gebruikt worden om informatie in te winnen aangaande inhoudsstoffen. Om op reststromen gevormde biomassa af te kunnen zetten is het nodig onderzoek te doen op dit gebied. Verder kan het houden van interviews met bedrijven die hun reststroom willen verwaarden veel duidelijkheid geven over zaken als:

- De meerwaarde van het gebruik van reststroombiomassa ten opzichte van "standaard" biomassa
- Wat is er voor bedrijven nodig om hun reststroom te gaan verwaarden
- Is er bij reststroomproducenten technologie aanwezig om de biomassa te verwerken

- Welke soorten biomassa of inhoudsstoffen sluiten aan bij processen die lokaal operationeel zijn
- Kan de biomassa lokaal worden afgezet
- Is er synergie tussen bedrijven mogelijk, kan de reststroom van bedrijf A van waarde zijn voor bedrijf B middels aquatische biomassa

Het onderzoeken van overige en mogelijk nieuwe schakels kan waarschijnlijk naar aanleiding van informatie uit de schakels "biomassa" en "afzet" uitgevoerd worden. Een verder doorontwikkelde en gedetailleerde versie van de voorgestelde keten kan dienen als basis voor het opzetten van business cases en daarmee de verwaarding van een reststromen economisch te toetsen.

## 13 Geraadpleegde bronnen

1. STOWA (2011), 5, Effluent polishing met algentechnologie, hoofdrapport.
2. STOWA (2011), 4, Effluent polishing met algentechnologie, deelstudierapport.
3. Rijkswaterstaat (2015), Effluent RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's
4. Rijkswaterstaat/CBS (2015), Effluent RWZI's (gemeten stoffen)
5. Website CBS: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=70152ned&D1=18-43&D2=0,3,6,12,17&D3=a&D4=l&VW=T> (gegevens van 07/07/2015)
6. CBS (2012), co-vergisting van dierlijk mest 2006-2011
7. EBA (2013), Digestate and REACH, position paper
8. Wageningen UR Glastuinbouw (2012), Glastuinbouw Waterproof: Haalbaarheidsstudie valorisatie van concentraatstromen (WP6) Fase 1
9. Wageningen UR Glastuinbouw (2012), Glastuinbouw Waterproof: Haalbaarheidsstudie valorisatie van concentraatstromen (WP6) Fase 2
10. Eindrapport BioNPK
11. [http://www.avebe.nl/Portals/2/209145\\_02%20Aardappelsap%20NL.pdf](http://www.avebe.nl/Portals/2/209145_02%20Aardappelsap%20NL.pdf)
12. <http://www.attero.nl/nl/bedrijf-organisatie/activiteiten/recyclen/tilburg/>
13. Persoonlijke communicaties Lars Huigen, Attero, 2015
14. Vonk, J. et.al. 2012. Naleeftekorten bij luchtwassers in de intensieve veehouderij. Effect op emissie(-reductie) van ammoniak. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). RIVM Briefrapport 609021121
15. Persoonlijke communicatie Melser, 2014
16. Roelof Pot, 2003, Veldgids water en overplanten
17. [http://en.wikipedia.org/wiki/Azolla\\_filiculoides](http://en.wikipedia.org/wiki/Azolla_filiculoides)
18. <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/perforatus/index.html>
19. <http://vege-farming.blogspot.nl/>
20. [http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/Images/Chlorophyta/Oedogonium/sp\\_4/sp\\_02.html](http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/Images/Chlorophyta/Oedogonium/sp_4/sp_02.html)
21. <http://www.gbif.org/species/2717002>
22. E.C.S. Little (1979) Handbook of utilization of aquatic plants (Food and Agricultural Organization of the United Nations), <http://www.fao.org/docrep/003/X6862E/X6862E00.htm#TOC>
23. <http://www.inno-plus.nl/nl/producten/varkenshouderij/chemische+luchtwasser>
24. [http://en.wikipedia.org/wiki/Lemna\\_minor](http://en.wikipedia.org/wiki/Lemna_minor)
25. [http://195.113.57.24/algo/CAUP/G1002\\_Haematococcus\\_pluvialis.htm](http://195.113.57.24/algo/CAUP/G1002_Haematococcus_pluvialis.htm)
26. Tauw, 2012, Effluentpolishing met kroos, koepelrapport
27. <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybeans>
28. Wageningen UR - Food and Biobased Research, 2011, Cellulose een eindeloze bron van mogelijkheden.
29. STOWA (2009), 3, Biobeschikbaarheid van stikstof en fosfaat in RWZI-effluent. Utrecht, The Netherlands
30. Website CBS: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=82506ned&D1=1,3,6-8&D2=0-1,4,8&D3=0&D4=0,7,9,%28I-2%29-I&VW=T> (bezoekt 07/07/2015)
31. Wageningen UR – ACRRES, 2012, Zuivering brouwerijprocesafvalwater met behulp van microalgen, resultaten onderzoek 2012.
32. Wageningen UR – ACRRES, 2014, Kansen voor microalgen als grondstofstroom in diervoeders.
33. Wageningen IMARES BV, 2006, De productie van reststromen door de Nederlandse visteelt

